ЗАПИСКИ ИМПЕРАТОРСКОЙ АКАДЕМІИ НАУКЪ.
MÉMOIRES
DE L'ACADÉMIE IMPÉRIALE DES SCIENCES DE ST.-PÉTERSBOURG.
VIII[e] SÉRIE.
ПО ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОМУ ОТДѢЛЕНІЮ. Томъ XXXII. № 3.
CLASSE PHYSICO-MATHÉMATIQUE. Volume XXXII. № 3.

Труды Ботанической Лабораторіи Императорской Академіи Наукъ.

КАЧЕСТВЕННЫЯ ИЗМѢНЕНІЯ ГЕОТРОПИЗМА.

Часть II.

Вліяніе лабораторнаго воздуха и этилена на геотропизмъ стеблей.

Д. Нелюбовъ.

СЪ 2 ТАБЛИЦАМИ И 3 РИСУНКАМИ ВЪ ТЕКСТѢ.

(Доложено въ засѣданіи Физико-Математическаго Отдѣленія 16 мая 1912 г.).




С.-ПЕТЕРБУРГЪ. 1914. ST.-PÉTERSBOURG.



ЗАПИСКИ ИМПЕРАТОРСКОЙ АКАДЕМІИ НАУКЪ.
MÉMOIRES
DE L'ACADÉMIE IMPÉRIALE DES SCIENCES DE ST.-PÉTERSBOURG.
VIIIe SÉRIE.
ПО ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОМУ ОТДѢЛЕНІЮ. CLASSE PHYSICO-MATHÉMATIQUE.
Томъ XXXII. № 3. **Volume XXXII. № 3.**

Труды Ботанической Лабораторіи Императорской Академіи Наукъ.

КАЧЕСТВЕННЫЯ ИЗМѢНЕНІЯ ГЕОТРОПИЗМА.

Часть II.

Вліяніе лабораторнаго воздуха и этилена на геотропизмъ стеблей.

Д. Нелюбовъ.

СЪ 2 ТАБЛИЦАМИ И 3 РИСУНКАМИ ВЪ ТЕКСТѢ.

(Доложено въ засѣданіи Физико-Математическаго Отдѣленія 16 мая 1912 г.).

С.-ПЕТЕРБУРГЪ. 1914. ST.-PÉTERSBOURG.

Напечатано по распоряженію Императорской Академіи Наукъ.
С.-Петербургъ, Февраль 1914 г. Непремѣнный Секретарь, Академикъ *С. Ольденбургъ.*

ТИПОГРАФІЯ ИМПЕРАТОРСКОЙ АКАДЕМІИ НАУКЪ.
Вас. Остр., 9 лин., № 12.

СОДЕРЖАНІЕ.

ВВЕДЕНІЕ.

Среди различныхъ измѣненій жизнедѣятельности проростковъ, развивающихся въ лабораторномъ воздухѣ, особенный интересъ представляетъ возникающее въ нихъ стремленіе къ горизонтальному росту. Если бы этиленъ, представляющій собою главное дѣйствующее начало лабораторнаго воздуха, вызывалъ въ проросткахъ всѣ остальныя производимыя имъ измѣненія[1]), кромѣ этого одного, то въ такомъ вліяніи можно было бы видѣть результатъ лишь токсическаго дѣйствія, потому что подобныя же измѣненія вызываются и нѣкоторыми другими вредными веществами.

Способность минимальныхъ количествъ этилена, содержащихся въ лабораторномъ воздухѣ благодаря присутствію въ немъ слѣдовъ свѣтильнаго газа, причинять указанныя нарушенія въ нормальномъ ходѣ развитія и питанія проростковъ имѣетъ большое значеніе для методики различныхъ физіологическихъ изслѣдованій, но только изученіе того воздѣйствія этилена, отъ котораго зависитъ стремленіе къ горизонтальному росту, обѣщаетъ доставить новыя данныя совершенно своеобразнаго характера, которыя могли бы послужить основаніемъ для теоретическихъ выводовъ о геотропическомъ процессѣ.

Изъ множества возможныхъ причинъ перехода отъ вертикальнаго роста къ горизонтальному вѣроятными могутъ считаться слѣдующія три:

1) стебли принимаютъ горизонтальное направленіе путемъ спонтанной нутаціи, утрачивая въ то же время геотропическую чувствительность, вслѣдствіе чего пріобрѣтенное направленіе и сохраняется впослѣдствіи;

2) горизонтальное направленіе является результатомъ взаимодѣйствія обычнаго отрицательнаго геотропизма и волнообразной нутаціи, видоизмѣненной усиленіемъ ея второй фазы;

3) стебли принимаютъ и удерживаютъ горизонтальное направленіе въ силу того, что измѣняются качественно ихъ геотропическія свойства, т. е. они становятся трансверсально геотропичными и съ этого момента горизонтальное положеніе является для нихъ положеніемъ покоя, при чемъ волнообразная нутація играетъ совершенно второстепенную роль, какъ и при нормальныхъ условіяхъ, вступая во взаимодѣйствіе съ геотропизмомъ.

---

1) См. ч. I, стр. 127—134.

Первое предположеніе (объ исключительной зависимости изгибовъ отъ нутаціи) разсматривается здѣсь на ряду съ остальными только потому, что въ новѣйшее время оно нашло себѣ сторонниковъ, хотя едва ли допустимо существованіе такой нутаціи, которая сама по себѣ могла бы быть причиной горизонтальнаго направленія стеблей, т. е. чтобы изгибы ея достигали опредѣленной величины не по отношенію къ морфологически нижележащей части, но относительно направленія силы тяжести.

Wiesner[1]), не отдавая себѣ отчета въ томъ, что онъ изслѣдовалъ процессы роста стеблей, находившихся не въ нормальномъ состояніи, но уже измѣненныхъ вліяніемъ лабораторнаго воздуха, считалъ всѣ изгибы, отъ которыхъ зависитъ извилистая форма проростковъ, въ томъ числѣ, слѣдовательно, и первый изгибъ, приводящій стебли въ горизонтальное направленіе, чисто нутаціонными, но вмѣстѣ съ тѣмъ полагалъ, что и при тѣхъ условіяхъ, когда этотъ изгибъ образуется, стебли остаются отрицательно геотропичными. Однако, разъ отрицательный геотропизмъ сохраняется, то, очевидно, нутація только и можетъ проявляться во взаимодѣйствіи съ нимъ (за исключеніемъ тѣхъ случаевъ, когда опыты ведутся на клиностатѣ), что Wiesner совершенно упустилъ изъ виду.

Кромѣ того, онъ полагалъ, что, какъ первый изгибъ, такъ и всѣ остальные происходятъ въ одной вертикальной плоскости съ нормальными нутаціонными искривленіями. Обращая постоянно особенное вниманіе на то, какъ оріентируются изгибы относительно плоскости симметріи стебля, въ которой совершается и спонтанная (волнообразная) нутація, я могъ убѣдиться, что не существуетъ опредѣленной связи между строеніемъ стебля и направленіемъ изгиба, приводящаго проростокъ въ горизонтальное положеніе (къ тому же изгибъ этотъ происходитъ только въ томъ случаѣ, если положеніе сѣмени въ почвѣ таково, что безъ этого изгиба стебель не можетъ направиться горизонтально). Отсюда само собою возникаетъ предположеніе, что дѣйствующія начала лабораторнаго воздуха оказываютъ вліяніе на геотропизмъ стеблей, вызывая качественное измѣненіе его.

Если бы это предположеніе оправдалось, то такая особенность воздѣйствія ацетилена и этилена представляла бы явленіе, весьма загадочное, но вмѣстѣ съ тѣмъ обѣщающее при тщательномъ изслѣдованіи освѣтить въ высшей степени интересную область взаимныхъ превращеній различныхъ формъ геотропизма и содѣйствовать разъясненію связи между отдѣльными фазами геотропическаго процесса. Поэтому механизмъ наблюдаемаго здѣсь перехода отъ вертикальнаго роста къ горизонтальному подъ вліяніемъ опредѣленнаго химическаго воздѣйствія заслуживаетъ самаго внимательнаго изученія.

Ботаническая Лабораторія Академіи Наукъ.
24 Января 1914 года.

---

1) Wiesner, J. Die undulirende Nutation der Internodien. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. in Wien. Bd. 77. Abth. I, p. 15. 1878.

ЧАСТЬ II.

ВЛІЯНІЕ ЛАБОРАТОРНАГО ВОЗДУХА И ЭТИЛЕНА НА ГЕОТРОПИЗМЪ СТЕБЛЕЙ.

Опытами, описанными въ первой части, установлены условія окружающей среды, отъ которыхъ зависятъ измѣненія въ формѣ и направленіи проростковъ гороха, вики, настурціи и нѣкоторыхъ другихъ растеній, наблюдаемыя въ лабораторныхъ культурахъ. Задача второй части состоитъ въ выясненіи внутреннихъ причинъ стремленія къ горизонтальному росту, обнаруживаемаго въ указанныхъ условіяхъ стеблями этихъ растеній.

Обращаясь къ рѣшенію вопроса, какія именно свойства стеблей, измѣняясь подъ вліяніемъ лабораторнаго воздуха, обусловливаютъ это стремленіе, я прежде всего остановился на изслѣдованіи того изгиба, который образуется въ верхней части вертикально направленнаго стебля, когда растеніе, раньше находившееся въ чистомъ воздухѣ, подвергается вліянію лабораторнаго воздуха или газовъ, которымъ онъ обязанъ своими свойствами.

Разъяснить происхожденіе этого изгиба мнѣ казалось тѣмъ болѣе важнымъ, что нерѣдко проростки, развивающіеся съ самаго начала въ лабораторномъ воздухѣ, выходя изъ почвы, направляются вертикально и, только достигнувъ $1-1\frac{1}{2}$ см. въ длину, даютъ изгибы подъ прямымъ угломъ, чтобы затѣмъ на долгое время сохранить горизонтальное направленіе.

Изученіе характера нутаціи и отношенія къ силѣ тяжести стеблей, развивавшихся съ самаго начала прорастанія въ атмосферѣ, содержащей примѣсь этилена, встрѣчаетъ значительныя трудности въ томъ, что воздѣйствіе этилена комбинируется съ другими условіями, отъ которыхъ зависитъ ростъ и направленіе стеблей, и что измѣненія, вызываемыя этимъ воздѣйствіемъ въ жизненныхъ процессахъ, — сложны. Особенно слѣдуетъ считаться съ токсическимъ дѣйствіемъ этилена, которое и при малыхъ дозахъ сильно сказывается за-

державкой роста и сокращеніемъ растущей зоны. Поэтому въ связи съ нутаціонными искривленіями и закручиваніемъ стеблей по оси, въ различныхъ случаяхъ въ правую или въ лѣвую сторону, оно часто сопровождается произвольной (повидимому) перемѣной направленія, тѣмъ болѣе, что положеніе, которое проростки стремятся подъ вліяніемъ этилена принять и сохранить, не опредѣляется однимъ направленіемъ, одной линіей, какъ для параллелотропныхъ органовъ, но заключено въ плоскости (горизонтальной) и поэтому въ предѣлахъ ея для нутаціонныхъ изгибовъ предоставляется большой просторъ. Если же нутація сопровождается закручиваніемъ, то концы стеблей весьма легко могутъ уклониться отъ принятаго направленія, чѣмъ будетъ вновь вызвана реакція, усложняющая ихъ форму. Далѣе, проростки, развивающіеся въ возобновляемой атмосферѣ съ опредѣленнымъ содержаніемъ этилена, могутъ привыкать къ ней, и тогда концы стеблей, сохранявшихъ раньше въ теченіе довольно долгаго времени горизонтальное направленіе, начинаютъ изгибаться кверху. Поддерживать строго на одномъ уровнѣ или достаточно медленно и постепенно усиливать дѣйствіе этилена, въ виду необходимости примѣненія минимальныхъ дозъ, чрезвычайно трудно: не говоря уже о вмѣшательствѣ индивидуальныхъ свойствъ проростковъ и объ измѣненіяхъ ихъ общаго состоянія, даже самая концентрація окружающей проростки смѣси этилена съ воздухомъ не можетъ быть точно урегулирована въ силу необходимыхъ условій опытовъ, такъ какъ, напримѣръ, въ пріемникѣ, въ которомъ помѣщается культура, воды всегда содержится гораздо больше, чѣмъ нужно для растворенія всего вводимаго этилена, причемъ въ теченіе опыта обстоятельства, обусловливающія раствореніе и обратное выдѣленіе его, постоянно мѣняются.

Другія причины, въ силу которыхъ можетъ измѣниться горизонтальное направленіе стеблей, развивающихся съ самаго начала прорастанія въ смѣси воздуха съ этиленомъ или находившихся въ ней продолжительное время, — ранѣе уже были указаны [1]).

Впослѣдствіи все же мною были сдѣланы опыты для возможно точнаго опредѣленія геотропическихъ свойствъ проростковъ, которые въ теченіе долгаго времени подвергались вліянію этилена, причемъ были получены результаты, вполнѣ согласные съ тѣми, которые дало изслѣдованіе перваго изгиба.

Прежде чѣмъ перейти къ описанію опытовъ, я считаю необходимымъ нѣсколько остановиться на двухъ предположеніяхъ относительно воздѣйствія этилена, которыя легко могутъ возникнуть, если имѣть въ виду только самый фактъ образованія изгибовъ. Подразумѣваемыя предположенія состоятъ въ слѣдующемъ: первое — въ томъ, что геотропическая чувствительность вслѣдствіе вреднаго вліянія газовъ утрачивается и концы стеблей изгибаются пассивно, свѣшиваются по своей тяжести; второе — въ томъ, что изгибы вызываются одностороннимъ химическимъ воздѣйствіемъ газовъ, т. е. что причиною ихъ является аэротропизмъ.

Останавливаюсь на этихъ предположеніяхъ въ самомъ началѣ потому, что вызывае-

---

1) «Качественныя измѣненія геотропизма». Ч. I, стр. 131—138.

мыя ими сомнѣнія могли бы до нѣкоторой степени отвлекать вниманіе и мѣшать правильной оцѣнкѣ результатовъ описываемыхъ далѣе опытовъ.

1. Активность изгибовъ.

Тѣ, кому случалось видѣть изслѣдуемые изгибы, навѣрное ни на минуту не сочли бы возможнымъ допустить, въ виду чрезвычайнаго повышенія тургора тканей, что эти изгибы происходятъ вслѣдствіе пассивнаго отвисанія концовъ стеблей. Тѣмъ не менѣе я все же старался рѣшить этотъ вопросъ путемъ опыта.

Предположеніе о пассивности изгибовъ было подвергнуто опытной провѣркѣ потому, что читателю, неимѣвшему случая обратить вниманіе на свойства проростковъ, развивающихся въ лабораторномъ воздухѣ, могло бы представиться вѣроятнымъ, что хотя бы на короткое время стебли подъ вліяніемъ ядовитыхъ газовъ начинаютъ вянуть и поэтому вершины ихъ поникаютъ, въ дальнѣйшемъ же образовавшійся изгибъ, вслѣдствіе утраты геотропической чувствительности, закрѣпляется процессами конечной стадіи роста.

Въ дѣйствительности однако опыты показываютъ, что изгибы образуются активно и притомъ съ большой силой.

Изъ трехъ совершенно одинаково поставленныхъ опытовъ, сопровождавшихся однимъ и тѣмъ же результатомъ, я опишу только одинъ (**Оп. 77**). Чтобы оказать противодѣйствіе образованію изгибовъ и установить такимъ образомъ, активны ли они, я помѣщалъ стебли въ вертикальномъ положеніи въ крупный песокъ и затѣмъ подвергалъ ихъ дѣйствію этилена. Это дѣлалось слѣдующимъ образомъ. Проростки въ теченіе 6 дней развивались въ

Опытъ 77. Горохъ.

30/I. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Температура 20°—23°.
Культуры помѣщены подъ колоколами, черезъ которые ежедневно въ теченіе 3 часовъ провускается уличный воздухъ. Вмѣстимость колоколовъ 2,3 литра.

3/II. Стебли растутъ вертикально, достигаютъ длины $3^1/_2$ см. Колокола продуваются по 1 часу.

	I.	II.	III.
5/II.	Стебли растутъ почти прямо. Черезъ верхній тубулусъ колокола культура засывана крупнымъ пескомъ (сухимъ). Затѣмъ введено $^1/_2$ cc. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ.	Стебли растутъ почти прямо. Черезъ верхній тубулусъ колокола культура засывана крупнымъ пескомъ (сухимъ). Этиленъ не вводился. Въ теченіе 2 часовъ пропускался уличный воздухъ.	Стебли растутъ почти прямо. Растенія не были засываны пескомъ. Введено $^1/_2$ cc. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ.
6/II.	Введено 1 cc. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ.	Уличный воздухъ пропускался въ теченіе 2 часовъ.	Образовались пологіе изгибы. Введено 1 cc. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ.
7/II.	Введено 1 cc. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ.	Уличный воздухъ пропускался въ теченіе 2 часовъ.	Изгибы стали круче, утолщенія сильнѣе. Введено 1 cc. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ.
8/II.	*Опытъ оконченъ.* Концы стеблей изогнулись, сильно утолщены.	Стебли растутъ почти прямо.	Концы стеблей изогнулись и утолщены почти такъ же, какъ и въ I культурѣ (немного больше).

чистомъ воздухѣ подъ колоколомъ съ двумя тубулусами, плотно прижатымъ нижнимъ краемъ къ слою глицеринъ-желатина. На седьмой день вертикально росшіе стебли въ двухъ колоколахъ были осторожно засыпаны крупнымъ пескомъ черезъ верхній тубулусъ, причемъ въ тоже время снизу вдувался сильной струей уличный воздухъ черезъ боковой тубулусъ, находившійся у нижняго края колокола. Затѣмъ верхній тубулусъ снова былъ заткнутъ каучуковой пробкой, въ которую была вставлена выходная трубка, соединенная каучукомъ съ Дрекселевой склянкой, какъ это было до всыпанія песка. Послѣ этого въ одинъ изъ колоколовъ (I) ежедневно вводилась опредѣленная доза этилена; другой, съ контрольной культурой, (II)—ежедневно продувался уличнымъ воздухомъ, въ третій же (III)—песокъ не былъ насыпанъ, но, какъ и въ первый, вводился этиленъ. По прошествіи трехъ дней, когда опытъ былъ оконченъ, оказалось, что въ I-омъ колоколѣ верхушки стеблей дали изгибы почти совершенно такіе же, какъ и въ III-емъ, несмотря на то, что имъ, очевидно, пришлось преодолѣть весьма сильное сопротивленіе, раздвигая крупинки песка, который былъ насыпанъ выше концовъ стеблей болѣе, чѣмъ на 5 см.

Результатами описанныхъ опытовъ, какъ мнѣ кажется, активность изгибовъ можно считать доказанной, и въ дальнѣйшемъ едва ли могутъ возникать какія-нибудь сомнѣнія относительно ея.

2. Соображенія относительно возможности участія аэротропизма въ образованіи изгибовъ.

Что касается предположенія объ участіи аэротропизма въ образованіи изслѣдуемыхъ изгибовъ, то для рѣшенія этого вопроса я не считалъ необходимымъ производить особыхъ опытовъ и именно потому, что изгибы возникаютъ даже и въ тѣхъ случаяхъ, когда растенія, взятыя изъ колокола, гдѣ они развивались въ чистомъ воздухѣ и росли вертикально, ставятся открыто въ лабораторномъ воздухѣ. При такихъ условіяхъ нѣтъ одностороннаго воздѣйствія вредныхъ газовъ, лабораторный воздухъ равномѣрно дѣйствуетъ на проростки со всѣхъ сторонъ и поэтому не можетъ оказывать направляющаго вліянія. Въ такихъ случаяхъ образованіе изгибовъ, конечно, не можетъ быть отнесено на счетъ аэротропизма. Однако въ большинствѣ моихъ опытовъ условія были иными, такъ какъ однородная атмосфера вокругъ растеній устанавливалась не моментально: растенія не перемѣщались изъ чистаго воздуха въ смѣсь его съ опредѣленнымъ содержаніемъ того или другого газа, но въ колоколѣ къ чистому воздуху прибавлялось желаемое количество газа въ видѣ относительно болѣе концентрированной смѣси его, которая вводилась черезъ Дрекселеву склянку и трубку, проходившую черезъ тубулусъ. Во время введенія смѣсь воздуха съ газомъ струей направлялась отъ входной трубки къ выходной, а затѣмъ введенный газъ медленно распредѣлялся по всему колоколу токами воздуха и путемъ диффузіи. Поэтому въ теченіе нѣкотораго времени подъ колоколомъ были осуществлены условія для одностороннаго воздѣйствія его. Но наблюденіе показало, что эти

условія не таковы, чтобы вызвать аэротропическую реакцію. Чаще всего употреблялись колокола съ верхнимъ тубулусомъ, заткнутымъ каучуковой трубкой, черезъ которую проходили двѣ стеклянныя трубки: короткая, оканчивавшаяся внутри тубулуса, и длинная, доходившая почти до нижняго края колокола. Въ рѣдкихъ случаяхъ примѣнялись колокола съ двумя тубулусами: верхнимъ и боковымъ, находившимся внизу, недалеко отъ края. Такимъ образомъ газъ или лабораторный воздухъ можно было вводить по желанію сверху или снизу. Обыкновенно я вводилъ газъ сверху (и тогда онъ, конечно, сначала скоплялся въ бо́льшемъ количествѣ въ верхней части колокола), но часто умышленно мѣнялъ направленіе: въ одномъ рядѣ культуръ газъ вводился сверху, въ другомъ снизу, но разницы въ результатахъ не получалось. Такимъ образомъ, если при введеніи газа сверху приписывать образованіе изгибовъ отрицательному аэротропизму, то слѣдовало бы ожидать что они не будутъ происходить, когда газъ вводится снизу, и наоборотъ, если изгибы обязаны своимъ происхожденіемъ положительному аэротропизму, то они должны были бы происходить только въ этомъ послѣднемъ случаѣ, при введеніи же газа сверху стебли должны были бы направляться вертикально.

Если даже предположить, что освобождающимъ моментомъ является воздѣйствіе газа лишь въ то самое время, когда онъ вводится и когда существуетъ токъ отъ входной трубки къ выходной, то и такое предположеніе встрѣчаетъ противорѣчіе въ наблюдаемыхъ явленіяхъ. Время, въ теченіе котораго существуетъ этотъ токъ воздуха съ примѣсью газа, очень невелико: всѣ манипуляціи при отмѣриваніи и введеніи въ колоколъ газовой смѣси посредствомъ примѣнявшагося аппарата (описаннаго въ I-ой части на стр. 12) требуютъ всего 2—3 минуты. Между тѣмъ, чтобы вызвать образованіе изгибовъ у стеблей гороха, воздѣйствіе этилена должно продолжаться не менѣе 3—4 часовъ. Мнѣ неоднократно встрѣчалась надобность вынимать культуры изъ колоколовъ, гдѣ онѣ находились въ чистомъ воздухѣ, чтобы, продержавъ ихъ открыто въ лабораторіи полчаса, часъ, иногда даже 2 часа, послѣ этого вновь помѣстить подъ колокола, продувавшіеся уличнымъ воздухомъ, но никогда въ этихъ случаяхъ стебли не давали изгибовъ. Въ опытѣ 101-мъ (произведенномъ для другой цѣли) проростки послѣ двухчасового пребыванія подъ колоколомъ, въ который былъ введенъ этиленъ въ обычной дозѣ, были перенесены на клиностатъ и вращались вокругъ горизонтальной оси въ чистомъ воздухѣ. Результатъ былъ тотъ, что стебли продолжали расти въ прежнемъ направленіи. Слѣдовательно, двухчасового пребыванія въ воздухѣ съ примѣсью этилена оказалось недостаточно, несмотря на то, что затѣмъ (въ чистомъ воздухѣ) противодѣйствіе образованію изгибовъ со стороны отрицательнаго геотропизма было устранено и условія для реакціи были наиболѣе благопріятными. Только послѣ четырехчасового дѣйствія этилена проростки, перенесенные на клиностатъ начинаютъ давать изгибы.

Далѣе, что особенно важно, изгибы обыкновенно оказываются оріентированными различно и никогда не направляются всѣ къ линіи, соединяющей отверстія входной и выходной трубки, или въ противоположную сторону, чего слѣдовало бы ожидать, если бы токъ

воздуха съ примѣсью газа оказывалъ направляющее воздѣйствіе. Это обстоятельство имѣетъ рѣшающее значеніе.

Приведенныя соображенія, какъ я полагаю, достаточно убѣдительно доказываютъ, что въ условіяхъ моихъ опытовъ аэротропизмъ не могъ быть причиною образованія изгибовъ, въ чемъ, разумѣется, нельзя видѣть никакихъ указаній на то, что бы этиленъ или ацетиленъ и вообще не могли вызывать аэротропической реакціи.

Гл. I. Роль геотропизма въ образованіи перваго изгиба подъ вліяніемъ лабораторнаго воздуха или этилена.

1. Ростъ стеблей, приведенныхъ въ различныя направленія относительно горизонта.

Образованіе изгиба, приводящаго стебли въ горизонтальное направленіе, не можетъ быть исключительно выраженіемъ видоизмѣненной волнообразной нутаціи, какъ полагалъ Wiesner, потому что въ такомъ случаѣ стебли должны были бы изгибаться всегда на спинную сторону, чего въ дѣйствительности не наблюдается. Хотя это и случается чаще всего, но нерѣдко встрѣчаются также изгибы и на брюшную или на одну изъ боковыхъ сторонъ или въ любомъ промежуточномъ направленіи.

Въ пользу предположенія, что сила тяжести принимаетъ участіе въ образованіи изслѣдуемыхъ изгибовъ, говоритъ уже то обстоятельство, что если проростки, подвергаясь дѣйствію газовъ, находятся въ вертикальномъ положеніи, то они изгибаются приблизительно подъ прямымъ угломъ. Изогнувшись концы стеблей принимаютъ горизонтальное направленіе, но уже затѣмъ растутъ такъ въ теченіе долгаго времени. Подобныхъ наблюденій было сдѣлано очень много. Какъ примѣръ, можно привести слѣдующіе опыты. Въ опытѣ **62**-мъ пятидневные проростки, которые развивались ранѣе въ чистомъ воздухѣ и затѣмъ были подвергнуты вліянію этилена, изогнулись подъ прямымъ угломъ и послѣ этого сохраняли горизонтальное направленіе въ теченіи 7 дней; за это время они образовали по два новыхъ (горизонтальныхъ) междоузлія, которыя достигали длины почти 10 сант. и въ $2\frac{1}{2}$ раза превосходили длину вертикальной части стебля, т. е. перваго междоузлія, развивавшагося въ чистомъ воздухѣ. Въ опытѣ **65**-мъ концы стеблей росли послѣ изгиба горизонтально 8 дней, но приростъ былъ равенъ только $4\frac{1}{2}$—5 см., такъ какъ концентрація этилена была больше, чѣмъ въ опытѣ 62-мъ[1]).

1) Конечно, направленіе стеблей не было строго горизонтальнымъ. Какъ въ обычныхъ условіяхъ параллелотропные органы далеко не всегда направляются вполнѣ вертикально и, выведенные изъ положенія покоя, далеко не всегда съ математической точностью возвращаются къ нему, такъ и здѣсь нерѣдки уклоненія, для которыхъ имѣется еще больше причинъ, чѣмъ при какихъ-либо другихъ обстоятельствахъ, какъ уже было выше указано.

Образованіе изгибовъ подъ вліяніемъ *лабораторнаго воздуха* я наблюдалъ многократно. Помимо спеціальныхъ опытовъ, часто стебли, выросшіе вертикально (напримѣръ, въ контрольныхъ культурахъ), ставились открыто въ темной комнатѣ или на свѣту, или же оставлялись подъ колоколомъ, но въ него былъ открытъ доступъ лабораторному воздуху сверху или снизу. Во всѣхъ этихъ случаяхъ верхушки стеблей изгибались и принимали приблизительно горизонтальное направленіе, сохраняя его затѣмъ до конца опыта въ теченіе нѣсколькихъ дней. Нерѣдко получались прекрасные изгибы, и вновь образовавшіяся верхнія части стеблей съ поразительной точностью, какъ по ватерпасу, удерживались въ горизонтальной плоскости, напримѣръ въ опытѣ 60-мъ (см. ч. I, табл. II, рис. 10).

Дѣйствіе *свѣтильнаго газа* вызывало тотъ же эффектъ, какъ и вліяніе лабораторнаго воздуха. Оно было испытано въ опытахъ 33 III и 35 V, описанныхъ выше (см. ч. I, стр. 45). Газъ вводился въ неопредѣленномъ, но относительно довольно большомъ количествѣ, хотя въ пріемникахъ, гдѣ помѣщались проростки, запаха газа не было замѣтно. Сильное дѣйствіе его проявилось въ томъ, что концы стеблей мало выросли: за 5 дней они достигли приблизительно 1 см. и были сильно утолщены, но все таки приняли горизонтальное направленіе.

Горизонтальный ростъ подъ вліяніемъ *этилена* наблюдался въ очень многихъ опытахъ, кромѣ упомянутыхъ выше. Въ большинствѣ опытовъ предлагаемаго изслѣдованія, для какой бы цѣли они ни производились, или положительный, или отрицательный результатъ выражался образованіемъ изгибовъ, причемъ почти всегда имѣлась контрольная культура: если въ ней проростки оставались вертикальными, то въ остальныхъ давали изгибы и наоборотъ. Всѣхъ опытовъ съ этиленомъ было сдѣлано около 70; почти въ каждомъ изъ нихъ было нѣсколько культуръ (отъ 3 до 5, иногда и болѣе), содержавшихъ обыкновенно по 10 проростковъ. Такимъ образомъ передъ моими глазами прошло очень большое количество стеблей, дававшихъ изгибы изъ вертикальнаго положенія, и поэтому я имѣлъ возможность убѣдиться путемъ наблюденій надъ очень большимъ числомъ объектовъ, что подъ вліяніемъ этилена изгибы обыкновенно доходятъ только до горизонтальнаго направленія. Какъ примѣръ, можно указать нѣкоторые изъ тѣхъ случаевъ, когда ростъ въ воздухѣ съ примѣсью этилена шелъ относительно быстро. Такъ въ опытѣ 67 I за первыя сутки послѣ введенія этилена горизонтальныя части выросли на 2 см., въ слѣдующія сутки еще на $1\frac{1}{2}$ см. Въ опытѣ 73-мъ (см. рис. 4, табл. I) наоборотъ въ первый день ростъ шелъ довольно медленно, но въ слѣдующіе два дня сравнительно очень скоро. Такъ какъ у гороха ростъ всегда ограничивается однимъ междоузліемъ и каждое изъ нихъ проходитъ большой періодъ роста въ отдѣльности и послѣдовательно[1]), изгибы же произошли въ концѣ второго междоузлія или въ третьемъ узлѣ (какъ на фотографическомъ снимкѣ хорошо видно въ I и III культурѣ), то этимъ и объясняется, что въ данномъ случаѣ въ первое время ростъ горизонтальныхъ частей шелъ медленно. Однако затѣмъ онъ сильно ускорился, такъ что за 3 сутокъ горизонтальныя части достигли длины до 4—5 см.

---

1) Ср. Ротертъ, В. О геліотропизмѣ. Казань. 1893, р. 176.

У Tropaeolum majus послѣ изгиба подъ вліяніемъ этилена горизонтальныя части растутъ быстрѣе, чѣмъ у гороха, такъ какъ въ опытѣ 107-мъ всего за $29\frac{1}{2}$ часовъ горизонтальныя части достигли длины 2—4 см., въ опытѣ 84-мъ за сутки — около 4 см.

Всякій изгибъ, каково бы ни было его происхожденіе, если онъ образуется вертикально стоящимъ стеблемъ, разумѣется, приближаетъ изогнувшуюся часть къ горизонтальному положенію, по крайней мѣрѣ въ первой своей фазѣ.

То обстоятельство, что въ данномъ случаѣ онъ останавливается, достигнувъ приблизительно 90°, можетъ быть истолковано различно, такъ какъ, напримѣръ, нѣтъ основаній признавать невозможнымъ существованіе особой нутаціи, совершающейся по дугѣ въ 90°, и такая нутація могла бы считаться причиной образованія изгибовъ, если бы только они направлялись всегда въ опредѣленную сторону относительно плоскости симметріи или если бы вообще наблюдалось какое-нибудь постоянное соотношеніе между направленіемъ изгиба и фазой развитія междоузлія, чего въ дѣйствительности однако не обнаруживается.

Для рѣшенія вопроса объ участіи силы тяжести въ образованіи разсматриваемыхъ изгибовъ важно установить, какъ растутъ стебли, если, подвергая ихъ дѣйствію газовъ, придать имъ горизонтальное направленіе, т. е. даютъ ли они изгибы въ этихъ условіяхъ или нѣтъ. Опыты показываютъ, что стебли продолжаютъ расти въ горизонтальномъ направленіи, не образуя изгибовъ. Этотъ результатъ въ связи съ выше разсмотрѣнными наблюденіями несомнѣнно доказываетъ участіе силы тяжести: изгибъ останавливается, какъ только растущая часть достигаетъ такого направленія, въ которомъ она подвергается одностороннему воздѣйствію силы тяжести подъ прямымъ угломъ, — и вовсе не образуется, если это условіе осуществлено уже во время измѣненія состава окружающей атмосферы. Относящіеся сюда опыты будутъ описаны далѣе, такъ какъ они имѣютъ еще иное значеніе.

Еще болѣе наглядно зависимость изслѣдуемыхъ изгибовъ отъ геотропизма проявляется въ томъ, что величина угла изгиба опредѣляется направленіемъ проростковъ во время дѣйствія газа. Другими словами, если стебель направить не вертикально вверхъ, а наклонно выше или ниже горизонта, то изгибъ образуется соотвѣтственно вверхъ или внизъ и на такой уголъ, чтобы конецъ стебля достигъ горизонтальнаго направленія. Проростки, развивавшіеся первоначально въ уличномъ воздухѣ и подвергнутые затѣмъ вліянію этилена, одновременно съ этимъ приводились въ слѣдующія положенія: въ опытѣ 112-мъ — отвѣсно внизъ, подъ угломъ 45° ниже горизонта, подъ угломъ $22\frac{1}{2}$° также ниже горизонта и вертикально вверхъ (контрольная культура), въ опытѣ же 113-мъ — горизонтально и выше горизонта на $67\frac{1}{2}$°, 45° и $22\frac{1}{2}$°. Разумѣется, величина угловъ была только приблизительно такая, какъ здѣсь указывается, потому что нормальные стебли гороха не растутъ строго по отвѣсу и совершенно прямо, подобно соломинѣ злаковъ; кромѣ того, они гибки и при извѣстной длинѣ легко склоняются внизъ отъ приданнаго имъ наклоннаго направленія. При постановкѣ опыта, подъ указанными углами направлялись не самые стебли, но вегетаціонные сосуды, приготовленные изъ гипса и имѣвшіе форму правильнаго параллелепипеда.

Какъ видно изъ прилагаемыхъ протоколовъ опытовъ 112-го и 113-го, во всѣхъ случаяхъ, когда стебли, подвергаясь вліянію этилена, не были направлены горизонтально, они дали изгибы подъ различными углами, которые приблизительно составляютъ дополненіе до прямого для соотвѣтствующихъ угловъ отклоненія стеблей отъ вертикальной линіи, вслѣдствіе чего концы стеблей приняли горизонтальное направленіе и (по крайней мѣрѣ въ первые дни) точно сохраняли его. Опыты были повторены съ тѣмъ же результатомъ.

Опытъ 112. Горохъ.

2/X. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Культуры помѣщены подъ колоколами вмѣстимостью въ 4,6 литра, черезъ которые вродувается уличный воздухъ ежедневно въ теченіи 2 часовъ. Температура 17°- 19°.

3/X. Появились проростки.

5/X. Длина стеблей 0,3—1,0 см. Пересажены во 12 шт. въ четырехугольные гипсовые вегетаціонные сосуды съ отверстіями въ днѣ, черезъ эти отверстія стебли выходятъ наружу; вегетаціонные сосуды наполнены стерилизованными опилками, перевернуты и закрѣплены, затѣмъ снова покрыты колоколами, черезъ которые пропускается уличный воздухъ въ теченіе 2 часовъ.

9/X. Проростки выросли до 8 см. Всѣ тонки, большинство совершенно прямы.

	I.	II.	III.	IV.
	Введено по 2 X 1/2 cc. 1/2% смѣси этилена съ воздухомъ во всѣ 4 колокола.			
	Проростки вмѣстѣ съ колоколомъ направлены отвѣсно внизъ.	Проростки вмѣстѣ съ колоколомъ направлены внизъ подъ угломъ 45° съ горизонтомъ.	Проростки вмѣстѣ съ колоколомъ направлены внизъ подъ угломъ 22½° съ горизонтомъ.	Проростки оставлены въ вертикальномъ положеніи.
10/X.	Изгибовъ нѣтъ.	Тоже.	Тоже.	Изгибы обозначились.
	Введено по 3 X 1/2 cc. 1/2% смѣси этилена съ воздухомъ во всѣ четыре колокола.			
11/X.	Изгибовъ нѣтъ.	Тоже.	Тоже.	Изгибы подъ прямымъ угломъ. Длина горизонтальныхъ частей 0,5—1,0 см.
	Введено во всѣ 4 колокола по 1/2 cc. 1/2% смѣси этилена съ воздухомъ.			
13/X.	Три стебля изогнулись подъ прямымъ угломъ, 7—подъ угломъ 45°, 2 — не изогнулись.	Восемь стеблей изогнулись, но еще не достигли горизонтальнаго положенія.	Шесть стеблей изогнулись весьма слабо, остальные не дали еще изгибовъ.	
	Введено во всѣ 4 колокола по 1/2 cc. 1/2% смѣси этилена съ воздухомъ.			
16/X.	Всѣ приняли горизонтальное направленіе. Горизонтальныя части стеблей сильно выросли. Введено по 3 X 1/2 cc. 1/2% смѣси этилена съ воздухомъ во всѣ 4 колокола.			
17/X.	*Опытъ оконченъ.* Послѣ изгиба концы стеблей достигаютъ 6—7 см. Растутъ въ горизонтальной плоскости, одинъ изогнулся кверху изъ горизонтальнаго положенія.	У 8 стеблей концы направлены горизонтально, 3 дали изгибы вверхъ изъ горизонтальнаго положенія. Одинъ совсѣмъ не изогнулся, такъ какъ послѣ введенія этилена пересталъ расти.	Шесть стеблей дали вторичные изгибы въ горизонтальной плоскости; три — образовали вторичные изгибы кверху; у остальныхъ трехъ ростъ прекратился.	Девять стеблей послѣ изгиба растутъ горизонтально; два—слабо приподнимаются; одинъ — имѣетъ изгибъ (изъ вертикальнаго направленія подъ прямымъ угломъ) въ утолщенной части.

Опытъ 113. Горохъ.

2/X. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ; культуры помѣщены подъ колоколами вмѣстимостью въ 2,2 литра, черезъ которые продувается уличный воздухъ ежедневно въ теченіе 2 часовъ. Температура 17°—19°.

3/X. Появились проростки.

5/X. Длина стеблей 0,3—1,0 см. Пересажены по 12 шт. въ гипсовые вегетаціонные сосуды съ пескомъ, снова накрыты колоколами, черезъ которые затѣмъ пропускался уличный воздухъ въ теченіе 2 часовъ.

9/X. Всѣ стебли тонки и большинство совершенно прямы, достигаютъ 8—10 см. Въ колокола введено по $^1/_2$ cc. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ.

I.	II.	III.	IV.
Послѣ введенія этилена колоколъ направленъ горизонтально. Такъ какъ стебли росли несовсѣмъ прямо, то у большинства верхушки оказались направленными косо вверхъ, но гораздо менѣе, чѣмъ въ IV культурѣ.	Послѣ введенія этилена колоколъ направленъ подъ угломъ 67$^1/_2$° съ горизонтомъ.	Послѣ введенія этилена колоколъ направленъ подъ угломъ 45° съ горизонтомъ.	Послѣ введенія этилена колоколъ направленъ подъ угломъ 22$^1/_2$° съ горизонтомъ.

10/X. Изгибы начались во всѣхъ 4 культурахъ. Введено по $^1/_2$ cc. $^1/_2$% смѣси этилена въ воздухомъ.

11/X. У всѣхъ стеблей концы приняли горизонтальное направленіе. Длина частей послѣ изгиба 2$^1/_2$—3 см. Введено по $^1/_2$ cc. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ.

13/X. У всѣхъ стеблей концы растутъ въ горизонтальномъ направленіи. Введено по $^1/_2$ cc. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ.

16/X. У всѣхъ стеблей концы сильно выросли въ горизонтальномъ направленіи, нѣкоторые уперлись въ стѣнки колоколовъ. Введено по 2×$^1/_2$ cc. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ.

17/X.

I.	II.	III.	IV.
Опытъ оконченъ. 6 стеблей продолжали расти горизонтально. Другіе 6, направленные нѣсколько косо вверхъ, дали изгибы ниже горизонта, но не болѣе, чѣмъ на 20°.	Всѣ растутъ горизонтально.	Всѣ растутъ горизонтально. Одинъ, коснувшись стѣнки колокола, дугообразно изогнулся на 180° въ горизонтальной плоскости.	Всѣ растутъ горизонтально.

Полученные результаты даютъ возможность сдѣлать нѣкоторые выводы относительно роли геотропизма въ образованіи изслѣдуемыхъ изгибовъ. Стебли изгибаются только до горизонтальнаго положенія, независимо отъ того, были ли они направлены вверхъ или внизъ, отвѣсно или наклонно, и безразлично, подъ какимъ угломъ, и въ тоже время они не даютъ изгибовъ, если заранѣе были направлены горизонтально. Эти свойства стеблей хорошо согласуются съ предположеніемъ, что форма геотропизма ихъ подъ вліяніемъ этилена измѣняется, — такъ какъ, если проростки становятся трансверсально геотропичными, то горизонтальное направленіе является для нихъ положеніемъ покоя, но сами по себѣ, взятые въ отдѣльности, описанные опыты еще не доказываютъ окончательно превращенія геотропизма. Можно думать, что въ данномъ случаѣ горизонтальное направленіе стеблей обусловливается взаимодѣйствіемъ оставшагося неизмѣненнымъ отрицательнаго геотропизма и автономной нутаціи, т. е. что нутаціонный изгибъ останавливается при такомъ положеніи стебля, когда противодѣйствіе со стороны геотропизма достигаетъ наибольшей силы, и вовсе не обра-

зуется, если съ самаго начала ему противопоставлено максимальное геотропическое раздраженіе, другими словами, что только при горизонтальномъ положеніи вліяніе автономной нутаціи и геотропизма уравновѣшиваются. Это предположеніе однако весьма мало вѣроятно. Автономныя измѣненія интенсивности роста на разныхъ сторонахъ стебля слагаются въ данномъ случаѣ въ форму волнообразной нутаціи. Взаимодѣйствіе ея съ отрицательнымъ геотропизмомъ могло бы привести къ образованію изгиба до горизонтальнаго направленія при условіи увеличенія разности въ ростѣ противоположныхъ сторонъ стебля, но такой изгибъ можетъ направляться исключительно на спинную сторону. Образованію изгибовъ на брюшную сторону волнообразная нутація должна оказывать противодѣйствіе. Но такъ какъ, несмотря на то, изгибы на брюшную сторону все таки образуются, то очевидно, что не она является ихъ причиной[1]).

Wiesner утверждалъ, что изгибъ, который приводитъ стебель въ горизонтальное направленіе, вмѣстѣ съ другими, придающими междоузліямъ извилистую форму, происходитъ въ одной вертикальной плоскости съ волнообразной нутаціей[2]) и обращенъ на спинную сторону. Въ дѣйствительности это далеко не всегда такъ бываетъ. Хотя чаще всего образуются изгибы на спинную сторону, но они происходятъ также и въ другихъ направленіяхъ, какъ это можно видѣть, напримѣръ, на рис. 2 (1) и рис. 4 табл. I-ой у гороха и на рис. 7 табл. I-ой у Tropaeolum majus. Для объясненія этихъ случаевъ пришлось бы допустить существованіе особой скрытой нутаціи, которая способна привести къ усиленному росту то одной, то другой стороны стебля, но въ чистомъ воздухѣ ничѣмъ не проявляется и можетъ быть обнаружена только при дѣйствіи на проростки этилена (и вообще веществъ, обусловливающихъ вліяніе лабораторнаго воздуха). Кромѣ того, эта нутація должна обладать еще слѣдующими странными свойствами: внѣ плоскости симметріи проростка она равняется по силѣ отрицательному геотропизму, такъ какъ изгибъ на бокъ или въ промежуточномъ направленіи останавливается, когда стебель достигаетъ горизонтальнаго положенія, но такъ какъ то же самое происходитъ и при изгибахъ на брюшную сторону, то здѣсь она оказывается сильнѣе и отрицательнаго геотропизма, и волнообразной нутаціи, вмѣстѣ взятыхъ. Въ то же время, она хотя и не ограничивается боковыми сторонами стебля, однако въ плоскости симметріи — должна проявляться только на спинной сторонѣ, потому что, если бы она была свойственна и брюшной сторонѣ, то при совмѣстномъ дѣйствіи ея съ волнообразной нутаціей изгибы на спинную сторону должны были бы достигать гораздо бо́льшей величины, чѣмъ 90°.

Существованіе такой формы нутаціи крайне неправдоподобно. Что же касается вліянія силы тяжести, то во всякомъ случаѣ, не рѣшая окончательно вопроса и пріобрѣтае-

---

1) Первая фаза волнообразной нутаціи, выражающаяся образованіемъ крутой дуги въ самой верхней части стебля, не можетъ играть роли въ данномъ случаѣ, такъ какъ изгибъ, вызываемый дѣйствіемъ этилена, происходитъ всегда ниже этой дуги въ вертикальной части стебля.

2) Wiesner, J. Die undulirende Nutation der Internodien. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. in Wien. Bd. 77. Abth. I, p. 33. 1878.

мой проростками формѣ геотропизма, полученные результаты несомнѣнно доказываютъ участіе его въ образованіи разсматриваемыхъ изгибовъ.

2. Ростъ стеблей, вращаемыхъ на клиностатѣ и укрѣпленныхъ параллельно горизонтальной оси.

Относительно роли геотропизма въ образованіи изгибовъ весьма важныя указанія могутъ быть получены изъ опытовъ надъ ростомъ стеблей на клиностатѣ. Но устраненіе односторонняго воздѣйствія земного притяженія и замѣна его послѣдовательнымъ въ различныхъ положеніяхъ, осуществляемыя на клиностатѣ, при различныхъ условіяхъ могутъ явиться освобождающими моментами для совершенно разнородныхъ реакцій и потому въ нѣкоторыхъ случаяхъ приводятъ къ такимъ результатамъ, которые допускаютъ нѣсколько различныхъ толкованій. Такъ какъ нельзя быть увѣреннымъ, чтобы въ подобныхъ случаяхъ въ образованіи изгибовъ не принимали участія неизвѣстныя или ускользнувшія отъ вниманія изслѣдователя причины, то иногда полученные результаты способны скорѣе затемнить вопросъ, чѣмъ содѣйствовать его рѣшенію. Какъ примѣръ, въ которомъ по крайней мѣрѣ нѣкоторыя стороны возможной зависимости явленія отъ нѣсколькихъ факторовъ ясны, можно привести слѣдующій опытъ Wiesner'а.

Wiesner нашелъ, что надсѣмядольное колѣно Phaseolus multiflorus при вращеніи на клиностатѣ параллельно горизонтальной оси даетъ изгибъ на спинную сторону[1]). Онъ видѣлъ въ этомъ проявленіе различной геотропической чувствительности противоположныхъ сторонъ стебля: брюшная сторона, по его мнѣнію, обнаруживаетъ болѣе высокую чувствительность, чѣмъ спинная, поэтому результатомъ одинаковаго послѣдовательнаго раздраженія той и другой и является усиленный ростъ брюшной стороны. Но съ такимъ же правомъ можно утверждать, что образованіе изгиба представляло собою вторую фазу волнообразной нутаціи, усиленной тѣмъ, что было устранено противодѣйствіе со стороны отрицательнаго геотропизма. Такимъ образомъ этимъ опытомъ Wiesner'а вопросъ о распредѣленіи геотропической чувствительности на различныхъ сторонахъ надсѣмядольнаго колѣна у Phaseolus multiflorus не разъясняется[2]). Въ случаѣ же превращенія отрицательнаго геотропизма въ трансверсальный, при извѣстной постановкѣ опыта, могутъ, кромѣ того, явиться условія для прерывистаго геотропическаго раздраженія (относящіяся сюда соображенія и литературныя данныя будутъ изложены въ IV-ой главѣ).

Въ виду указанной возможной сложности измѣненій роста подъ вліяніемъ вращенія на клиностатѣ, въ примѣненіи данныхъ, получаемыхъ такимъ путемъ, къ рѣшенію вопроса о происхожденіи изслѣдуемыхъ изгибовъ необходимо соблюдать особенную осторожность, и только тѣ результаты могутъ служить основаніемъ для какихъ-либо выводовъ, которые не допускаютъ иныхъ толкованій, кромѣ одного опредѣленнаго.

---

1) Wiesner, J. Die undulirende Nutation d. Internodien. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. in Wien. I Abth., Bd. 77, p. 27. 1878.

2) Новѣйшіе опыты O. Richter'а надъ ростомъ стеблей гороха на клиностатѣ въ чистомъ воздухѣ будутъ разсмотрѣны ниже.

Этому последнему требованію въ достаточной мѣрѣ, какъ мнѣ кажется, удовлетворяютъ сообщаемыя далѣе наблюденія. Матеріаломъ для опытовъ служили проростки, развивавшіеся въ чистомъ воздухѣ и посаженные въ спеціально сдѣланныя для того корзиночки изъ никкелевой сѣтки (см. рис. 2, табл. I). Когда стебли достигали длины 4—5 см., то культура укрѣплялась на клиностатѣ такъ, чтобы они были направлены параллельно горизонтальной оси его. Ось клиностата была заключена въ длинную латунную муфту, смазанную внутри вазелиномъ, которая была укрѣплена въ тубулусѣ колокола (лежавшаго горизонтально на подставкѣ) или въ отверстіи латунной тарелки, въ которую предварительно былъ налитъ слой глицеринъ-желатина; къ нему были прижаты края колокола, черезъ тубулусъ котораго проходили трубки для продуванія; если же ось вводилась въ тубулусъ, то колоколъ замыкался съ противоположной стороны подобной же тарелкой съ отверстіемъ въ серединѣ, черезъ которое проходили трубки, служившія для продуванія. Въ общемъ расположеніе приборовъ было приблизительно такое же, какъ изображено на рис. 1 табл. I, только колоколъ былъ меньшихъ размѣровъ, и поэтому контрольная культура помѣщалась отдѣльно. Растенія на клиностатѣ были вполнѣ изолированы отъ лабораторнаго воздуха, такъ какъ тонкій слой вазелина между поверхностью оси и стѣнкой муфты представлялъ настолько большое препятствіе для вхожденія или выхожденія воздуха, что въ колоколѣ даже и во время хода клиностата можно было поддерживать давленіе выше атмосфернаго на 20 см. водяного столба.

Черезъ нѣсколько часовъ, иногда черезъ сутки, послѣ того какъ ось клиностата была приведена въ движеніе, въ колоколъ вводился этиленъ, и затѣмъ въ теченіе долгаго времени (нѣсколько сутокъ) стебли росли въ воздухѣ, съ извѣстнымъ содержаніемъ его. Контрольная культура помѣщалась подъ особымъ колоколомъ, но колокола были соединены каучуковой трубкой. Этиленъ вводился въ каждый изъ нихъ отдѣльно, но затѣмъ они вновь соединялись, такъ что по прошествіи нѣкотораго времени въ обоихъ должна была устанавливаться одинаковая атмосфера. Впрочемъ, опытъ, произведенный впослѣдствіи, показалъ, что даже если вводить газъ только въ одинъ изъ колоколовъ, соединенныхъ между собою, то въ обоихъ вертикально направленные проростки образуютъ изгибы. Тѣмъ болѣе въ данномъ случаѣ можно было имѣть увѣренность, что если въ одномъ изъ колоколовъ обнаруживается обычная реакція, то и атмосфера другого также была способна вызвать ее.

Остановимся только на одномъ изъ произведенныхъ такимъ образомъ опытовъ, (оп. 81, рис. 2, табл. I). Въ немъ, какъ можно видѣть изъ прилагаемаго протокола, четырехдневные проростки, послѣ того какъ культура была укрѣплена на оси клиностата, въ теченіе первыхъ сутокъ были оставлены въ вертикальномъ положеніи (чтобы удостовѣриться, что воздухъ въ колоколѣ чистъ), затѣмъ сутки все еще въ чистомъ воздухѣ вращались вокругъ горизонтальной оси; это было сдѣлано для того, чтобы съ введеніемъ этилена измѣнилось только одно условіе — составъ окружающаго воздуха. Предосторожность въ данномъ случаѣ оказалась несовсѣмъ излишней, потому что послѣ того какъ ось клиностата была приведена въ движеніе, нѣкоторые стебли, еще находясь въ чистомъ воздухѣ, нѣсколько уклонились отъ приданнаго имъ направленія (въ *нижней* своей части), хотя и слабо; но затѣмъ уже росли

совершенно прямо, не изгибаясь. Опытъ былъ оконченъ черезъ двое сутокъ послѣ введенія этилена. Въ теченіе этого времени на клиностатѣ концы стеблей попрежнему оставались прямыми, причемъ они выросли въ среднемъ на $1\frac{1}{2}$ см., въ контрольной же культурѣ проростки образовали прекрасные изгибы. Концы ихъ приняли горизонтальное направленіе и продолжали такъ расти. Тѣ части стеблей, которыя развились во время пребыванія растеній въ смѣси воздуха съ этиленомъ, были довольно сильно утолщены, какъ у неподвижно стоявшихъ проростковъ, такъ въ особенности у вращавшихся на клиностатѣ, откуда, очевидно, слѣдуетъ, что и эти послѣдніе не были изъяты отъ достаточно сильнаго дѣйствія этилена. На фотографическомъ снимкѣ (рис. 2, табл. I) различіе между тѣми и другими рѣзко бросается въ глаза.

Опытъ 81. Горохъ. *(Рис. 2, табл. I)*

(На клиностатѣ въ воздухѣ съ примѣсью этилена. Температура $18\frac{1}{2}°$—20°).

3/V. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ; культуры помѣщены подъ колоколами, черезъ которые пропускается уличный воздухъ по 1 часу ежедневно.

7/V. Проростки пересажены по 11 шт. въ круглыя никкелевыя корзиночки.

	I.	II.
7/V.	Культура помѣщена подъ стекляннымъ колоколомъ (вмѣстимостью 2,3 литра). Оба колокола I и II соединены каучуковой трубкой и продуваются одновременно.	Культура укрѣплена на оси клиностата, которая черезъ длинную муфту введена въ колоколъ, (вмѣстимостью 3,75 литра), закрывающійся герметически. Проростки вмѣстѣ съ осью и колоколомъ приведены въ вертикальное положеніе. Колоколъ продувался въ теченіе 3 часовъ сильнымъ токомъ уличнаго воздуха, затѣмъ непрерывно слабымъ.
8/V.		Проростки вмѣстѣ съ колоколомъ и осью клиностата направлены горизонтально, ось клиностата приведена въ движеніе.
	Оба колокола продувались въ теченіе 3 часовъ сильнымъ токомъ уличнаго воздуха, затѣмъ непрерывно — слабымъ.	
9/V.	Растутъ прямо. Введено $\frac{1}{2}$ cc. 1% смѣси этилена съ воздухомъ.	5 стеблей образовали при основаніи пологіе слабые изгибы. Введено $1\frac{1}{2}$ cc. 1% смѣси этилена съ воздухомъ.
	Послѣ введенія этилена оба колокола снова были соединены.	
10/V.	Утромъ введено 1 cc. 1% смѣси этилена съ воздухомъ, вечеромъ $\frac{1}{2}$ cc. Изгибы начались.	Утромъ введено 3 cc. 1% смѣси этилена съ воздухомъ, вечеромъ — $1\frac{1}{2}$ cc. Изгибовъ нѣтъ.
11/V.	*Опытъ оконченъ.* Послѣ изгиба концы стеблей растутъ горизонтально.	Изгибовъ нѣтъ. Концы стеблей сильно утолщены.

Въ другихъ опытахъ пребываніе проростковъ на клиностатѣ въ воздухѣ съ примѣсью этилена было еще болѣе продолжительнымъ: въ опытѣ 80-мъ — 4 сутокъ, въ опытѣ 92-мъ — 5 сутокъ и въ опытѣ 89-мъ — 9 сутокъ. Подобныхъ опытовъ было сдѣлано шесть, и во всѣхъ результатъ получился такой же, какъ и въ выше описанномъ. Отсюда, я полагаю, можно заключить, что образованіе изслѣдуемыхъ изгибовъ зависитъ отъ одностороннняго направляющаго воздѣйствія силы тяжести и не вызывается автономной нутаціей, усиливающейся подъ вліяніемъ этилена.

Не считаю однако возможнымъ умолчать объ одномъ случаѣ полученія противорѣчащаго результата, который допускаетъ, повидимому, нѣсколько толкованій, но въ томъ числѣ также и не въ пользу моихъ выводовъ. Именно, въ одномъ изъ первыхъ опытовъ съ клиностатомъ (оп. 65-й), произведенномъ почти совершенно такъ, какъ было только что описано, — проростки и на клиностатѣ дали изгибы. Наиболѣе существенное различіе по сравненію съ опытомъ 81-мъ здѣсь состояло въ томъ, что во-первыхъ проростки были моложе: когда они подверглись воздѣйствію этилена, то у нихъ только что начинало развиваться второе междоузліе, тогда какъ тамъ ростъ второго междоузлія былъ законченъ и начинало развиваться третье; во-вторыхъ — проростки были посажены въ никкелевыя корзиночки такъ, что ихъ срединныя плоскости располагались по радіусамъ, причемъ проростки были обращены спинной стороной кнаружи и сохранили это положеніе, а въ опытѣ 81-мъ ко времени введенія этилена плоскости симметріи послѣдняго междоузлія были оріентированы различно вслѣдствіе закручиванія стеблей вокругъ своей оси. Впрочемъ, что касается различнаго положенія срединной плоскости, то въ данномъ случаѣ едва-ли есть основаніе полагать, чтобы оно могло имѣть какое-либо значеніе, такъ какъ одинаково въ обоихъ случаяхъ положеніе ея относительно горизонта постоянно измѣнялось по мѣрѣ того, какъ проростки обращались вокругъ оси клиностата.

Какъ видно изъ протокола опыта, въ первые дни, когда у контрольныхъ проростковъ уже образовались совершенно ясные изгибы, — на клиностатѣ стебли еще продолжали рости въ прежнемъ направленіи; у нихъ изгибы развились позднѣе, медленно и постепенно. И притомъ они имѣли совершенно иную форму, чѣмъ обычные изгибы вертикальныхъ стеблей. Когда былъ введенъ этиленъ, проростки имѣли только одно первое междоузліе, ростъ

Опытъ 65. Горохъ.

(На клиностатѣ въ воздухѣ съ примѣсью этилена. Температура 19°—22°).

29/III. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ.

1/IV. Пересажены въ никкелевыя корзиночки. Въ круглой корзиночкѣ посажены такъ, что срединныя плоскости располагаются по радіусамъ; проростки спинной стороной обращены кнаружи.

	I.	II. Контрольная культура.
1/IV.	Проростки въ никкелевой корзиночкѣ помѣщены на ось клиностата подъ колоколомъ вмѣстимостью 3,75 литра и, вмѣстѣ съ нею, приведены въ вертикальное положеніе.	Проростки въ никкелевой корзиночкѣ помѣщены подъ колоколомъ вмѣстимостью въ 3,75 литра.
	Колокола соединены каучуковой трубкой, продуваются непрерывно уличнымъ воздухомъ.	
3/IV.	Растутъ прямо вверхъ, отъ $2^1/_2$ до 3 см. Вмѣстѣ съ колоколомъ направлены горизонтально, и ось клиностата приведена въ движеніе; черезъ 5 часовъ послѣ того введено 1 cc. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ.	Растутъ почти вертикально; отъ $2^1/_2$ до 3 см. Вечеромъ (въ тоже время, какъ и въ I колоколъ) введено 1 cc. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ. Это количество вводилось затѣмъ въ оба колокола ежедневно.
4/IV.	Изгибовъ нѣтъ.	Только что начинаютъ изгибаться.
5/IV.	Выросли до 4—$4^1/_2$ см. Изгибовъ нѣтъ.	5 проростковъ изогнулись до горизонтальнаго направленія, остальные еще не достигли его.
11/IV.	*Опытъ оконченъ.* Восемь проростковъ образовали дугообразные, пологіе изгибы на спинную сторону; остальные четыре растутъ почти прямо. Концы стеблей утолщены.	Кромѣ одного, всѣ проростки образовали изгибы подъ угломъ. Выросшія послѣ изгиба части стеблей утолщены.

котораго уже окончился. Во время опыта развилось второе междоузліе. У растеній, вращавшихся на клиностатѣ, все оно и было изогнуто на спинную сторону почти въ видѣ дуги круга съ очень большимъ радіусомъ.

Какъ объяснить происхожденіе этихъ изгибовъ? Возможны три предположенія. Во-первыхъ, можно считать ихъ идентичными съ тѣми, которые образуются и у неподвижно стоящихъ проростковъ, и поэтому видѣть въ нихъ доказательство невѣрности моего вывода объ измѣненіи формы геотропизма подъ вліяніемъ этилена: по этому воззрѣнію изгибы представляютъ собой проявленіе автономной нутаціи, отсюда и понятно, что они образуются на клиностатѣ, хотя, какъ выше было указано, это объясненіе можетъ относиться только къ изгибамъ на спинную сторону и неприложимо ко всѣмъ остальнымъ случаямъ.

Разумѣется, опытъ былъ мною повторенъ нѣсколько разъ съ соблюденіемъ совершенно тожественныхъ условій. Однако подобнаго результата болѣе не получалось. Такъ напримѣръ, въ опытѣ 89-мъ вліянію этилена были подвергнуты, какъ и въ опытѣ 65-мъ, пятидневные проростки, у которыхъ окончился ростъ перваго междоузлія и начинало развиваться второе, и также они вращались въ чистомъ воздухѣ въ теченіе 5 часовъ передъ тѣмъ, какъ былъ

Опытъ 89. Горохъ.

(На клиностатѣ въ воздухѣ съ примѣсью этилена. Температура 19,5°—22°).

18/I. Стерелизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Колокола продуваются уличнымъ воздухомъ.

21/I. Пересажены въ никкелевыя корзиночки.

	I.	II.
23/I.	Въ 2 часа дня культура помѣщена на ось клиностата. Клиностатъ приведенъ въ движеніе. Вмѣстимость колокола 7 литровъ.	Контрольная культура. Помѣщена подъ колоколомъ въ 3,75 литра.
	Съ $2\frac{1}{2}$ часовъ до 4 оба колокола продуваются уличнымъ воздухомъ.	
	Въ 7 часовъ вечера введено $3 \times \frac{1}{2}$ cc. $\frac{1}{2}\%$ смѣси этилена съ воздухомъ.	Введено $2 \times \frac{1}{2}$ cc. той же смѣси. Колокола соединены каучуковой трубкой.
24/I.	Изгибовъ нѣтъ, появляются утолщенія. Введено $4 \times \frac{1}{2}$ cc. $\frac{1}{2}\%$ смѣси этилена съ воздухомъ послѣ продуванія въ теченіе $\frac{1}{4}$ часа уличнымъ воздухомъ.	Концы стеблей начали изгибаться. Введено $2 \times \frac{1}{2}$ cc. той же смѣси, какъ и въ I культурѣ, послѣ продуванія въ теченіе $\frac{1}{4}$ часа уличнымъ воздухомъ.
25/I.	Введено $6 \times \frac{1}{2}$ cc. $\frac{1}{2}\%$ смѣси этилена съ воздухомъ послѣ 10-минутнаго продуванія уличнымъ воздухомъ.	Введено $4 \times \frac{1}{2}$ cc. той же смѣси, какъ и въ I культурѣ, послѣ 10-минутнаго продуванія уличнымъ вездухомъ.
2/II.	*Опытъ оконченъ.* У всѣхъ стеблей концы сильно утолщены, но изгибовъ нѣтъ.	Стебли изогнулись, концы ихъ утолщены.

введенъ въ колокола этиленъ. Къ концу опыта, за 9 дней пребыванія на клиностатѣ, второе междоузліе у всѣхъ проростковъ вполнѣ развилось, но дугообразнаго изгиба на спинную сторону, какъ въ опытѣ 65-мъ, не образовало и оставалось прямымъ.

Подобные же результаты были получены и въ остальныхъ аналогичныхъ опытахъ. Опытовъ съ клиностатомъ, кромѣ описанныхъ, вообще было сдѣлано много (для другой цѣли), но такихъ изгибовъ, какъ въ опытѣ 65-мъ, болѣе не было получено ни разу. Резуль-

татъ его остался единичнымъ. Но не это обстоятельство болѣе всего убѣждаетъ въ томъ, что изгибы, образовавшіеся въ данномъ случаѣ на клиностатѣ, и тѣ, которые образуются вертикально направленными стеблями, не идентичны. Если предположить, что обычные изгибы обязаны своимъ происхожденіемъ автономной нутаціи, то необходимо вмѣстѣ съ тѣмъ принять, что и въ лабораторномъ воздухѣ проростки сохраняютъ геотропическую чувствительность, быть можетъ, ослабленную, но въ прежней формѣ, т. е. остаются отрицательно геотропичными, потому что въ противномъ случаѣ, допуская полную утрату геотропической чувствительности, нельзя объяснить, отчего изгибы не образуются при горизонтальномъ положеніи стеблей, а въ остальныхъ случаяхъ достигаютъ только такой величины, чтобы концы стеблей приняли горизонтальное направленіе: автономная нутація, не встрѣчая сопротивленія со стороны отрицательнаго геотропизма, должна была бы проявиться и тутъ, и тамъ. Если же проростки сохраняютъ свои геотропическія свойства, то при образованіи изгибовъ стеблями, направленными вертикально, участіе отрицательнаго геотропизма можетъ выразиться только въ томъ, что онъ будетъ противодѣйствовать автономной нутаціи. Поэтому на клиностатѣ нутаціонные изгибы, не встрѣчая препятствія со стороны отрицательнаго геотропизма, должны были бы образоваться раньше и достигнуть бóльшей величины, чѣмъ у неподвижныхъ стеблей, въ дѣйствительности же произошло обратное. Это обстоятельство уничтожаетъ возможность предположенія, что тѣ и другіе изгибы имѣютъ общую внутреннюю причину.

Второе предположеніе, которое можетъ быть сдѣлано относительно происхожденія изгибовъ на клиностатѣ, состоитъ въ томъ, что здѣсь проявляется неодинаковая геотропическая чувствительность спинной и брюшной стороны, какъ указывалъ Wiesner для надсѣмядольнаго колѣна Phaseolus multiflorus (см. выше, стр. 12). Для рѣшенія вопроса, могутъ ли быть объяснены такимъ образомъ разсматриваемые изгибы, я произвелъ нѣсколько опытовъ. Ихъ результаты, показываютъ ясно, что различіе въ геотропической чувствительности противоположныхъ сторонъ стебля не можетъ быть причиной изгибовъ на клиностатѣ.

Въ чистомъ воздухѣ стебли гороха несомнѣнно обнаруживаютъ отрицательный геотропизмъ и бóльшую геотропическую чувствительность, чѣмъ въ воздухѣ съ примѣсью этилена, если судить по времени реакціи, не касаясь качественнаго различія геотропизма въ томъ и въ другомъ случаѣ (впрочемъ, дѣло не мѣняется, если даже считать, что въ воздухѣ съ примѣсью этилена проростки остаются отрицательно геотропичными, такъ какъ стебли, наклоненные ниже горизонта, въ воздухѣ съ примѣсью этилена несравненно медленнѣе изгибаются кверху, чѣмъ въ чистомъ воздухѣ).

Поэтому, если геотропическая чувствительность брюшной и спинной стороны не одинаковы, то на клиностатѣ въ чистомъ воздухѣ стебли должны образовать еще болѣе сильные изгибы, чѣмъ тѣ, которые были получены въ опытѣ 65-мъ подъ вліяніемъ этилена, или же изгибы должны произойти въ болѣе короткій промежутокъ времени. Мною было сдѣлано 4 такихъ опыта (66-й, 71-й, 72-й, 74-й), которые отличались отъ 65-го только тѣмъ, что проростки все время находились въ чистомъ воздухѣ. Однако ни разу крутыхъ дуго-

образныхъ изгибовъ на спинную сторону получено не было. Фотографическій снимокъ (см. рис. 3 табл. I) лучше всякаго описанія показываетъ, что въ чистомъ воздухѣ разница между неподвижно стоящими проростками и вращаемыми на клиностатѣ очень невелика.

Въ опытѣ **66**-мъ на клиностатѣ за пять дней проростки образовали второе и третье междоузліе. Второе междоузліе было совершенно прямо, а въ третьемъ у нѣкоторыхъ волнообразная нутація была выражена немного сильнѣе, чѣмъ у контрольныхъ, но и они изогнулись несравненно слабѣе, чѣмъ растенія опыта 65-го. Въ общемъ стебли эти росли несовсѣмъ прямо. Проростки были посажены въ корзиночку, когда первое междоузліе еще совершенно не развилось. Случайно имъ было придано такое положеніе, что вначалѣ стебли выросли нѣсколько наклонно. Отрицательный геотропизмъ въ первомъ междоузліи проявляется слабо, такъ что нерѣдко оно не образуетъ изгиба изъ наклоннаго положенія, но такъ и продолжаетъ расти. На клиностатѣ стебли въ большей или меньшей степени сохранили свое случайное направленіе. Это обстоятельство, конечно, не могло имѣть значенія для исхода опыта. Въ остальныхъ трехъ случаяхъ проростки были посажены въ никкелевыя корзиночкѣ такъ, чтобы стебли направлялись совершенно по оси клиностата. Они примѣнялись для опыта въ томъ возрастѣ, когда развитіе перваго междоузлія было закончено. На клиностатѣ развивалось второе междоузліе и въ большей или меньшей степени третье. Волнообразная нутація въ опытахъ **71**-мъ и **72**-мъ была выражена у вращавшихся стеблей не болѣе рѣзко, чѣмъ у неподвижныхъ, такъ что въ опытѣ **72**-мъ проростки той и другой культуры совершенно ничѣмъ не различались (исключая двухъ болѣзненныхъ стеблей въ культурѣ на клиностатѣ, рано погибшихъ).

Въ опытѣ **74**-мъ изгибы волнообразной нутаціи въ первомъ междоузліи, образовавшіеся во время роста въ вертикальномъ положеніи, весьма замѣтные, у неподвижно стояв-

Опытъ 66. Горохъ.

(На клиностатѣ въ чистомъ воздухѣ. Температура 16°—18°).

29/IV. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Культуры помѣщаются подъ колоколами, черезъ которые непрерывно продувается уличный воздухъ.

1/V. Проростки пересажены въ никкелевыя корзиночки.

	I.	II. Контрольная культура.
4/V.	Проростки помѣщены на клиностатъ. Направлены параллельно оси. Длина 2—3 см. Стебли растутъ наклонно. Первое междоузліе. Клиностатъ приведенъ въ движеніе. Оба колокола вмѣстѣ непрерывно продуваются уличнымъ воздухомъ.	Длина вростковъ 2—3 см. Нѣкоторые растутъ наклонно. Первое междоузліе.
8/V.	Сильно выросли, не измѣняя направленія.	Сильно выросли. Верхнія части стеблей направлены вертикально у всѣхъ проростковъ, кромѣ одного.
9/V.	*Опытъ оконченъ.* Развилось третье междоузліе. Стебли достигаютъ длины 12—14 см. Второе междоузліе не имѣетъ дугообразной формы. Третье междоузліе нѣсколько искривлено на спинную сторону, т. е. второй изгибъ волнообразной нутаціи больше, чѣмъ во II-й культурѣ, но не у всѣхъ проростковъ, и несравненно слабѣе, чѣмъ въ опытѣ 65-мъ.	Одинъ стебель продолжаетъ расти въ наклонномъ положеніи, остальные 12 направились вертикально.

Опытъ 71. Горохъ.

(Въ чистомъ воздухѣ на клиностатѣ. Температура $17^1/_2°—22^1/_2°$).

16/IX. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Культуры помѣщаются подъ колоколами через которые непрерывно пропускается уличный воздухъ.
20/IX. Пересажены въ никкелевыя корзиночки.

	I.	II. Контрольная культура.
21/IX.	Проростки помѣщены на клиностатъ. Направлены параллельно оси. Первое междоузліе. Ось клиностата приведена въ движеніе. Оба колокола вмѣстѣ продуваются непрерывно уличнымъ воздухомъ.	Стебли растутъ прямо. Развилось только первое междоузліе.
22/IX.	Выросли мало. Сохраняютъ направленіе.	Выросли мало. Сохраняютъ направленіе.
23/IX.	Выросли довольно сильно. Нѣсколько изгибаются въ разныя стороны.	Выросли довольно сильно. Сохраняютъ вертикальное направленіе.
25/IX.	*Опытъ оконченъ.* Длина стеблей 8—10 см. Растутъ нѣсколько изогнувшись. Второй изгибъ волнообразной нутаціи немного усиленъ.	Длина стеблей 8—12 см. 10 проростковъ направляются вертикально, 1 нѣсколько согнулся, 1 растетъ въ наклонномъ положеніи съ самаго начала.

Опытъ 72. Горохъ.

(На клиностатѣ въ чистомъ воздухѣ. Температура 23°—24°).

25/XI. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Культуры помѣщаются подъ колоколами, через которые непрерывно пропускается уличный воздухъ.
27/XI. Проростки пересажены въ никкелевыя корзиночки.

	I.	II. Контрольная культура.
28/XI.	Проростки помѣщены на клиностатъ. Направлены параллельно оси; нѣкоторые растутъ наклонно. Длина до $3^1/_2$ см. Ось клиностата приведена въ движеніе. Оба колокола вмѣстѣ продуваются непрерывно уличнымъ воздухомъ.	Проростки достигаютъ длины $3^1/_2$ см. Прямы.
29/XI.	Выросли до 5 см., сохраняютъ направленіе.	
30/XI.	*Опытъ оконченъ.* Ростъ второго междоузлія оконченъ, начинаетъ развиваться третье. Части стеблей, развившіяся на клиностатѣ, почти совершенно прямы, не отличаются по формѣ отъ контрольныхъ.	Оконченъ ростъ второго междоузлія, начало развиваться третье. Стебли растутъ вертикально.

Опытъ 74. Горохъ. *(Табл. I, рис. 3)*

(На клиностатѣ въ чистомъ воздухѣ. Температура $23^1/_2°—25^1/_2°$).

14/XII. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Культуры помѣщаются подъ колоколами, через которые непрерывно продувается уличный воздухъ.
16/XII. Проростки пересажены въ никкелевыя корзиночки и помѣщены подъ колоколами, которые продуваются по 1 часу.

	I. Контрольная культура.	II.
19/XII.	Въ первомъ междоузліи волнообразная нутація рѣзко выражена. Начинаетъ развиваться второе междоузліе. Оба колокола вмѣстѣ продуваются непрерывно уличнымъ воздухомъ.	Проростки помѣщены на клиностатъ. Направлены параллельно оси. Начинаетъ развиваться второе междоузліе. Въ первомъ междоузліи волнообразная нутація рѣзко выражена.
20/XII.		Одинъ стебель изогнулся подъ угломъ 45°, остальные прямы.
21/XII.	Растутъ не совсѣмъ прямо, до 10 см.	Нѣсколько изгибаются въ разныя стороны. Длина до 10 см.
22/XII.	*Опытъ оконченъ.* Стебли растутъ несовсѣмъ прямо, длина ихъ нѣсколько меньше, чѣмъ во II культурѣ. Изгибы волнообразной нутаціи въ первомъ междоузліи у большинства выпрямились.	Отъ 7 до 12 см. Стебли нѣсколько изогнуты дугообразно по всей длинѣ, начиная со второго междоузлія, большинство на спинную сторону, но такихъ изгибовъ, какъ въ опытѣ 65-мъ нѣтъ.

шихъ проростковъ впослѣдствіи выравнялись, на клиностатѣ же сохранились вполнѣ, тогда какъ въ двухъ верхнихъ междоузліяхъ у тѣхъ и другихъ стеблей нутаціонная кривизна была ясно выражена, особенно на клиностатѣ, вслѣдстіе чего стебли по всей длинѣ были нѣсколько изогнуты дугообразно.

Въ общемъ, слѣдовательно, оказалось, что на клиностатѣ въ чистомъ воздухѣ стебли никогда не образуютъ не только болѣе крутыхъ искривленій, чѣмъ въ опытѣ 65-мъ, но даже не образуютъ и такихъ изгибовъ, какіе получились въ данномъ случаѣ, хотя иногда нутаціонная кривизна и усиливается до извѣстной степени. Впрочемъ волнообразная нутація и у вертикально растущихъ стеблей проявляется обыкновенно неодинаково, то сильнѣе, то слабѣе. Это относится главнымъ образомъ ко второй фазѣ ея, которая выражается образованіемъ пологаго дугообразнаго искривленія на спинную сторону по всей длинѣ междоузлія. Отъ чего зависитъ это различіе, — съ увѣренностью трудно сказать. Повидимому, въ большинствѣ случаевъ, чѣмъ болѣе благопріятны общія условія развитія, чѣмъ здоровѣе проростки, тѣмъ яснѣе проявляется и волнообразная нутація. Однако, возможно, что здѣсь имѣютъ значеніе и расовыя особенности, такъ какъ проростки разныхъ сортовъ гороха отличаются между собою, какъ вообще во многихъ отношеніяхъ (напримѣръ, длиною и толщиною перваго и слѣдующихъ междоузлій, скоростью роста при одинаковыхъ внѣшнихъ условіяхъ), такъ, повидимому, и бóльшей или меньшей интенсивностью нутаціонныхъ искривленій.

Это обстоятельство даетъ возможность предположить, что въ опытѣ 65-мъ осуществилось такое совпаденіе условій, которое особенно благопріятствовало усиленію второй фазы волнообразной нутаціи, а такъ какъ вслѣдствіе задержки роста подъ вліяніемъ этилена второе междоузліе было укорочено, то нутаціонная кривизна и приняла форму дугообразнаго изгиба. Это послѣднее предположеніе представляется наиболѣе вѣроятнымъ также и въ виду того, что всѣ 8 изгибовъ въ культурѣ, вращавшейся на клиностатѣ, были обращены на спинную сторону, причемъ форма ихъ была совершенно иная, чѣмъ всегда бываетъ у вертикально растущихъ стеблей, подвергнутыхъ вліянію этилена. Здѣсь, какъ уже было упомянуто, междоузліе изогнулось по всей длинѣ дугообразно, тогда какъ у неподвижно стоящихъ стеблей изгибы локализируются при основаніи растущей зоны, имѣютъ форму, близкую къ излому, и могутъ быть обращены на любую сторону.

Все сказанное приводитъ къ заключенію, что образованіе изгибовъ на клиностатѣ у большей части стеблей (у 8-ми изъ 12-ти) въ данномъ опытѣ слѣдуетъ считать случайнымъ явленіемъ: эти изгибы представляютъ собою лишь усиленіе второй фазы волнообразной нутаціи и — что самое важное — не тожественны съ обычными изгибами вертикально стоящихъ стеблей, происходящими подъ вліяніемъ этилена.

* * *

Итакъ опыты надъ ростомъ стеблей, вращаемыхъ на клиностатѣ параллельно горизонтальной оси, въ чистомъ воздухѣ и подъ вліяніемъ этилена, за исключеніемъ единствен-

наго случая, какъ я полагаю, удовлетворительно объясняющагося, доказываютъ, что одностороннее воздѣйствіе силы тяжести необходимо для образованія изслѣдуемыхъ изгибовъ. Поэтому, и въ виду характера изгибовъ, становится весьма вѣроятнымъ, что не только геотропизмъ принимаетъ участіе въ ихъ образованіи, но также, что измѣненіе формы его является единственной внутренней причиной ихъ. Волнообразная нутація, если и не остается безъ вліянія, то все же играетъ лишь второстепенную роль: она можетъ ускорить или замедлить образованіе изгиба, а также нѣсколько уменьшить или увеличить радіусъ кривизны его, если онъ происходитъ въ срединной плоскости, т. е. на брюшную или на спинную сторону, но не болѣе.

Какой-нибудь иной формы нутаціи, кромѣ волнообразной, на клиностатѣ не наблюдалось. Поэтому окончательно лишается основанія и то, разсмотрѣнное выше, предположеніе, по которому главная роль принадлежитъ особой нутаціи, обнаруживающейся только при болѣзненномъ состояніи проростковъ, вызываемомъ вліяніемъ этилена, и во взаимодѣйствіи съ отрицательнымъ геотропизмомъ являющейся причиною того, что, образуя изгибы, верхушки, стеблей направляются горизонтально.

3. Важнѣйшее доказательство качественнаго измѣненія геотропизма подъ вліяніемъ этилена.

Уже разсмотрѣнные результаты опытовъ, въ особенности отсутствіе изгибовъ на клиностатѣ, весьма сильно говорятъ въ пользу того, что изгибы обусловливаются измѣненіемъ геотропическихъ свойствъ проростковъ. Прямое и наиболѣе убѣдительное доказательство превращенія отрицательнаго геотропизма въ трансверсальный при дѣйствіи этилена на проростки доставили, по моему мнѣнію, тѣ опыты, къ разсмотрѣнію которыхъ мы теперь обратимся, такъ какъ причиною полученныхъ результатовъ не могли бы быть никакія иныя измѣненія въ свойствахъ стеблей.

Какъ можно видѣть на снимкахъ проростковъ, служившихъ объектами различныхъ опытовъ, напримѣръ, на рис. 2, табл. I, даже въ одной и той же культурѣ, т. е. при совершенно одинаковыхъ условіяхъ и у проростковъ одного возраста, изгибы, приводящіе верхній конецъ стебля въ горизонтальное положеніе, бываютъ оріентированы различно: концы стеблей направляются въ разныя стороны. Отъ чего это зависитъ? Чѣмъ опредѣляется направленіе изгиба въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ? Долгое время я не могъ рѣшить этотъ вопросъ. Никакого постояннаго соотношенія съ періодическими измѣненіями интенсивности роста на противоположныхъ сторонахъ стебля, съ фазами развитія его или съ какими-либо морфологическими особенностями установить не явилось возможности. Выше не разъ приходилось упоминать, что относительно плоскости волнообразной нутаціи, изгибы бываютъ различно оріентированы, т. е. что они происходятъ то на спинную, то брюшную или же на одну изъ боковыхъ сторонъ, или въ какомъ-нибудь промежуточномъ направленіи.

Развитіе тканей въ стеблѣ гороха идетъ неравномѣрно въ различныхъ продольныхъ

участкахъ одного и того же междоузлія: каждый листъ съ нижележащей частью стебля (листостебельный сегментъ) до извѣстной степени развивается обособленно отъ другихъ[1]). Такъ какъ листья у гороха и близкихъ къ нему растеній очередные, то стебель имѣетъ несимметричное, какъ бы ступенчатое развитіе, и поэтому на одномъ уровнѣ отъ узла на противоположныхъ сторонахъ постоянно имѣются ткани въ различныхъ фазахъ дифференцировки[2]). Можно думать, что въ силу этого общая задержка роста, вызываемая этиленомъ, должна различно отзываться на дальнѣйшемъ ходѣ развитія тканей, находящихся на одномъ разстояніи отъ нижележащаго узла, и при нѣкоторомъ опредѣленномъ соотношеніи въ степени развитія тканей на противоположныхъ сторонахъ стебля можетъ повести къ образованію изгиба. Другими словами, неравномѣрность дифференцировки тканей, можетъ быть, играетъ роль той скрытой нутаціи, о которой выше была рѣчь. Предположеніе о такой зависимости встрѣчаетъ существенныя возраженія. Во-первыхъ, задержка роста, вызываемая иными вліяніями, кромѣ дѣйствія этилена, ацетилена и свѣтильнаго газа, не сопровождается образованіемъ изгибовъ. Во-вторыхъ, такъ какъ листья расположены на брюшной и спинной сторонѣ, то вліяніе различной послѣдовательности развитія тканей въ простѣйшемъ случаѣ должно было бы проявиться въ той же (срединной) плоскости, какъ и волнообразная нутація. Но, быть можетъ, соотношенія болѣе сложны, и этимъ объясняется, что изгибы не совпадаютъ со срединной плоскостью. Во всякомъ случаѣ, если это такъ, то направленіе изгиба должно находиться въ зависимости отъ стадіи развитія междоузлія, т. е. на опредѣленномъ относительномъ разстояніи отъ нижележащаго узла изгибъ всегда долженъ быть направленъ въ одну и ту же сторону. Въ дѣйствительности однако подобной зависимости установить не удается.

Нѣкоторое постоянство соотношеній (несущественное) наблюдалось только въ одномъ. Если проростокъ, развивавшійся въ чистомъ воздухѣ, по какимъ-нибудь случайнымъ причинамъ первоначально принималъ горизонтальное или наклонное направленіе (напримѣръ, былъ выдвинутъ на поверхность почвы растущимъ корешкомъ и упалъ) и затѣмъ изгибался вверхъ, то второй изгибъ, вызываемый дѣйствіемъ этилена, происходилъ обыкновенно въ той же самой вертикальной плоскости, въ противоположномъ или въ томъ же направленіи. Такіе случаи однако были вообще очень рѣдки. Если при самомъ началѣ проростанія, въ зависимости отъ положенія зародыша, стебель, направляясь вертикально, даетъ крутой изгибъ вверхъ, то къ плоскости этого изгиба опредѣленнаго отношенія со стороны изгибовъ, вызываемыхъ этиленомъ, не обнаруживается. Обсуждая вопросъ, можно ли себѣ представить такія соотношенія внутренняго состоянія проростковъ (т. е. степени развитія послѣдняго междоузлія, фазы его нутаціи, интенсивности роста, величины растущей зоны и т. д.)

1) По крайней мѣрѣ, это можно сказать о развитіи сосудисто-волокнистыхъ пучковъ.

2) Какъ это видно, напр., на рисункахъ Tourneux («Recherches sur la structure des plantules chez les Viciées». Le Botaniste, II série. 1910, p. 313), въ особенности на рис. Т. III на стр. 317. Ср. также Compton, R. H. An Investigation of the Seedling Structure in the Leguminosae. The Journ. of the Linnean Soc., Vol. 41. Bot. № 279, p. 1—122. 1912.

съ различными внѣшними условіями при дѣйствіи этилена, которыя могли бы явиться причиною образованія изгиба въ данномъ направленіи, я пришелъ къ выводу, что возможна такая постановка опыта, при которой именно выборъ направленія изгибающейся вершиной стебля долженъ окончательно рѣшить вопросъ, является ли образованіе изгиба выраженіемъ автономной нутаціи (въ отдѣльности или въ связи съ отрицательнымъ геотропизмомъ) или же оно происходитъ въ силу превращенія отрицательнаго геотропизма въ трансверсальный. Если бы главною причиной образованія изгибовъ являлась спонтанная нутація или особенности въ послѣдовательности развитія тканей, то направленіе изгибовъ должно было бы опредѣляться какимъ-нибудь постояннымъ отношеніемъ къ срединной плоскости или же стадіей развитія междоузлія. Если же стебли изгибаются только потому, что подъ вліяніемъ этилена происходитъ превращеніе отрицательнаго геотропизма въ трансверсальный, то изгибы должны въ любомъ мѣстѣ междоузлія принимать то или другое направленіе независимо отъ положенія срединной плоскости проростка, какъ это и наблюдается въ дѣйствительности, но въ то же время направленіе изгиба можетъ быть заранѣе предугадано, и даже болѣе того: можно по произволу заставить стебли изогнуться въ любую сторону. Къ этому приводятъ слѣдующія соображенія о томъ геотропическомъ состояніи, въ которомъ должны были бы находиться вертикально растущіе стебли въ моментъ, когда произойдетъ превращеніе геотропизма.

Для трансверсально геотропичнаго (но недорзивентральнаго) органа горизонтальное положеніе есть положеніе покоя, въ которомъ онъ одинаково не испытываетъ со стороны силы тяжести импульса къ образованію изгиба, какою бы стороною онъ ни былъ обращенъ кверху [1]). Въ строго вертикальномъ положеніи такой органъ находится въ состояніи неустойчиваго геотропическаго равновѣсія [2]). На опытѣ это показалъ Czapek относительно боковыхъ корней. Какъ извѣстно, для нихъ положеніе покоя опредѣляется Саксовскимъ «предѣльнымъ угломъ» съ линіей отвѣса, и къ нему они возвращаются изъ всякаго другого приданнаго имъ направленія [3]). Изъ вертикальнаго положенія боковые корни обыкновенно также даютъ изгибы, потому что концы ихъ нутируютъ [4]). Если же устранить вліяніе нутаціи, напри-

1) Опредѣляя впервые трансверсальный геотропизмъ, Frank (который установилъ и самое понятіе) указывалъ, что характернымъ для трансверсально геотропичнаго органа слѣдуетъ считать стремленіе направиться такъ, чтобы продольная ось его образовала прямой уголъ съ направленіемъ силы тяжести («Mithin giebt es hier an Stelle des gewöhnlichen negativen Geotropismus eine andere Art Geotropismus, deren Ziel die rechtwinklige Stellung der Längsachse des Organs zur Richtung der wirkenden Kraft ist». Frank. Die natürliche wagerechte Richtung von Pflanzentheilen. Leipzig. 1870, p. 21). Такое опредѣленіе предполагаетъ лучевую симметрію органа (по крайней мѣрѣ въ физіологическомъ отношеніи). Но обыкновенно, какъ это дѣлалъ и Frank, трансверсально геотропичными называютъ также и дорзивентральные органы. Эту послѣднюю форму геотропизма, столь отличную отъ остальныхъ, слѣдовало бы обозначать особымъ терминомъ. Чтобы избѣжать длинныхъ описательныхъ выраженій, въ дальнѣйшемъ трансверсально геотропичными я буду называть только органы лучевой симметріи (по отношенію къ силѣ тяжести).

2) Noll, Fr. Ueber heterogene Induktion. Leipzig. 1892, p. 28—29.

3) Czapek, Fr. Untersuchungen über Geotropismus. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 27, p. 329—330. 1895.

Idem. Ueber die Richtungsursachen der Seitenwurzeln und einiger anderer plagiotroper Pflanzentheile. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. in Wien. Bd. 104. Abth. I, p. 1201. 1895.

4) Schober, A. Das Verhalten der Nebenwurzeln in der verticalen Lage. Bot. Ztg. Bd. 56. Abth. I, p. 1. 1898.

мѣръ, заключивъ кончикъ корня въ стеклянную трубку, то, оставаясь въ вертикальномъ положеніи хотя бы въ теченіи нѣсколькихъ часовъ, корни не испытываютъ геотроническаго раздраженія, такъ какъ, помѣщенные затѣмъ на клиностатъ (и, разумѣется, освобожденные отъ стеклянныхъ трубочекъ), они не даютъ изгибовъ послѣдѣйствія [1]).

Всякое, самое слабое направляющее воздѣйствіе можетъ вывести трансверсально геотропичный органъ изъ отвѣснаго положенія, создавая условія для геотропической индукціи и тѣмъ опредѣляя для него то единственное положеніе покоя, изъ безчисленнаго множества заключенныхъ въ горизонтальной плоскости вокругъ его основанія, которое онъ долженъ принять. Но если онъ заранѣе былъ направленъ невполнѣ вертикально, то этимъ уже ему предоставляется только одно направленіе, по которому онъ можетъ достигнуть положенія покоя, именно то, въ какомъ онъ былъ отклоненъ отъ вертикальной линіи.

Отсюда ясно, каковы должны быть условія опыта. Стебли, выросшіе вертикально въ чистомъ воздухѣ, слѣдуетъ, подвергнувъ дѣйствію этилена, нѣсколько наклонить: одни — на спинную сторону, другіе на боковую, третьи — на брюшную. Если проростки подъ вліяніемъ этилена пріобрѣтаютъ свойства трансверсально геотропичныхъ органовъ, то изгибы, приводящіе въ горизонтальное положеніе верхнюю часть стебля, должны во всѣхъ трехъ случаяхъ направиться въ ту сторону, куда проростки были отклонены отъ вертикальной линіи, независимо отъ положенія срединной плоскости. Если же главную роль въ образованіи изгибовъ играетъ нутація или извѣстная послѣдовательность въ развитіи тканей, то изгибы должны оріентироваться опредѣленнымъ образомъ относительно срединной плоскости или же различно, въ соотвѣтствіи со стадіей развитія того или другого проростка, но во всякомъ случаѣ независимо отъ того, куда были наклонены стебли.

Для опыта (см. протоколъ оп. 73-го) были приготовлены три культуры, въ которыхъ всѣ сѣмена были посажены такъ, что бы срединныя плоскости проростковъ были между собою параллельны. Такимъ образомъ всѣмъ стеблямъ каждой данной культуры можно было придать одинаковое положеніе относительно плоскости симметріи. Когда у большинства проростковъ почти закончилось развитіе второго междоузлія, они были примѣнены для опыта. Въ колокола было введено по $\frac{1}{2}$ cc. $\frac{1}{2}\%$ смѣси этилена съ воздухомъ, и затѣмъ культуры вмѣстѣ съ ними были наклоненны въ разныя стороны приблизительно на 20° отъ вертикальнаго направленія: въ I-ой культурѣ проростки были наклонены на спинную сторону, во II-ой — на боковую (лѣвую) и въ III-ей — на брюшную [2]). Рядомъ съ ними находилась контрольная культура, помѣщавшаяся въ чистомъ воздухѣ и остававшаяся въ вертикальномъ положеніи.

---

1) Czapek, Fr. Weitere Beiträge zur Kenntniss der geotropischen Reizbewegungen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 32, p. 242—243. 1898.

2) Культуры были наклонены въ разныя стороны не только относительно срединной плоскости проростковъ, но также и каждая относительно двухъ другихъ. Поэтому, если бы изгибы произошли помимо вліянія силы тяжести, но вслѣдствіе какого-либо односторонняго направляющаго воздѣйствія, то они не были бы во всѣхъ культурахъ направлены въ ту сторону, куда проростки были отклонены отъ вертикальной линіи, и такимъ образомъ не могли бы симулировать геотропическую реакцію.

Результатъ опыта представилъ поразительно ясную картину: во всѣхъ трехъ культурахъ стебли, какъ видно на фотографическомъ снимкѣ (рис. 4 табл. I), изогнулись въ ту сторону, куда были наклонены[1]), и затѣмъ росли почти совершенно горизонтально. Въ каждой отдѣльной культурѣ не у всѣхъ стеблей изгибы были оріентированы одинаково

Опытъ 73. Горохъ. *(Табл. I, рис. 4)*

30/XI. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ.

2/XII. Проростки пересажены такъ, чтобы срединныя плоскости у всѣхъ были направлены параллельно. Въ каждой культурѣ по 10 проростковъ, культуры находятся подъ колоколами около 2 литровъ вмѣстимостью; черезъ колокола ежедневно пропускается въ теченіе 3 часовъ уличный воздухъ. Температура 21°—24°.

	I.	II.	III.	IV.
5/XII.	Введено $^1/_2$ cc. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ, затѣмъ культура вмѣстѣ съ колоколомъ наклонена на 20° отъ вертикальнаго направленія такъ, что книзу была обращена *спинная сторона.*	Введено $^1/_2$ cc. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ. Проростки (вмѣстѣ съ колоколомъ) наклонены *на лѣвый бокъ.*	Введено $^1/_2$ cc. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ. Проростки (вмѣстѣ съ колоколомъ) наклонены *на брюшную сторону.*	Контрольная. Ежедневно въ теченіе 3 часовъ черезъ колоколъ пропускается уличный воздухъ.
6/XII.	Въ колокола I, II и III введены тѣ же количества этилена, какъ и раньше, безъ предварительнаго продуванія. Вездѣ начались изгибы.			Растутъ прямо.
7/XII.	Въ колокола I, II и III введены тѣ же количества этилена, какъ и раньше, безъ предварительнаго продуванія. Концы стеблей послѣ изгиба у большинства растутъ горизонтально.			Растутъ прямо.
8/XII.	*Опытъ оконченъ.* Всѣ изогнулись въ ту сторону, куда были наклонены. Три стебля были нѣсколько выведены изъ этого положенія вслѣдствіе закручиванія. Одинъ изогнулся очень слабо, ростъ его почти прекратился.	9 проростковъ изогнулись въ ту сторону, куда были наклонены, одинъ изогнутъ въ плоскости, перпендикулярной къ направленію остальныхъ изгибовъ. У него верхняя часть послѣ изгиба перестала расти и имѣетъ уродливый видъ.	7 проростковъ изогнулись въ ту сторону, куда были наклонены. 3 проростка дали очень слабые изгибы, нѣсколько уклоняющіеся отъ общаго направленія, ростъ этихъ стеблей почти прекратился.	Нѣтъ изгибовъ. Стебли сильно выросли, тонки по всему протяженію.
	Концы стеблей во всѣхъ трехъ культурахъ утолщены.			

относительно срединной плоскости: такъ, напримѣръ, въ культурѣ II-ой у одного стебля изгибъ пришелся на спинную сторону, у другого — на брюшную, тогда какъ культура была наклонена на бокъ. Это произошло потому, что стебли (еще до введенія этилена) росли закручиваясь и къ началу опыта закручиваніе достигло 90°, у одного — вправо, у другого — влѣво, и такимъ образомъ первый и былъ наклоненъ на спинную сторону, второй — на брюшную. Закручиваніе стеблей наблюдается очень часто и является иногда большой помѣхой въ опытахъ. Въ этой же культурѣ одинъ проростокъ оказался изогнутымъ въ плоскости, перпендикулярной направленію остальныхъ изгибовъ. Произошло ли это вслѣдствіе

1) При фотографированіи культуры были расположены иначе, чѣмъ во время опыта: двѣ послѣднія (II-ая и III-ья) были повернуты на 90° вокругъ своей оси, одна – налѣво, другая—направо. Это было сдѣлано для того, чтобы плоскость изгибовъ вездѣ совпадала съ плоскостью рисунка.

закручиванія стебля послѣ образованія изгиба, или отъ какой-нибудь другой причины, — трудно рѣшить.

Опытъ былъ повторенъ надъ проростками гороха (оп. 75-й) и настурціи (оп. 107-й) съ такимъ же результатомъ.

Въ опытѣ съ проростками Tropaeolum majus стебли были подвергнуты вліянію этилена на седьмой день проростанія. Къ этому времени они имѣли только одно междоузліе, но оно уже достигало приблизительно 10 см. въ длину. У большинства стеблей изгибы образовались на другой же день послѣ введенія этилена и именно въ ту сторону, куда проростки были наклонены, независимо отъ положенія срединной плоскости: въ I-ой культурѣ—на брюшную сторону, во II-ой на правый бокъ и въ III-ей—на спинную. У настурціи стебли также, какъ и у гороха, закручиваются вокругъ своей оси. Поэтому и въ данномъ опытѣ у нѣкоторыхъ проростковъ положеніе срединной плоскости измѣнилось съ того времени, какъ они были пересажены. Во II-ой культурѣ у двухъ стеблей (изъ девяти) изгибы лежали въ плоскости, перпендикулярной направленію остальныхъ. Одинъ изъ нихъ былъ закрученъ. Произошло ли это еще до введенія этилена, или послѣ, — не удалось своевременно замѣтить при слабомъ свѣтѣ желтаго фонаря. Возможно, что закручиваніе произошло и послѣ образованія изгиба, такъ какъ у Tropaeolum majus уже черезъ 3—4 часа верхушка изгибается на 90°, направленіе же изгибовъ въ данномъ случаѣ было отмѣчено только черезъ сутки. Другой стебель не былъ закрученъ. Онъ изогнулся на спинную сторону. Вѣроятно, къ началу опыта верхушка его въ силу волнообразной нутаціи была болѣе наклонена на спинную сторону, чѣмъ вся культура — на боковую. Въ III-ей культурѣ два проростка (изъ 10) оказались изогнувшимися на брюшную сторону, т. е. въ направленіи, противоположномъ тому, куда они были наклонены, и одинъ — на правую сторону, въ плоскости, перпендикулярной къ направленію остальныхъ семи изгибовъ. Эти три стебля не были закручены. Происхожденія ихъ изгибовъ я не могу съ увѣренностью объяснить, но такъ какъ изъ числа

Опытъ 107. Tropaeolum majus.

15/III. Нестерилизованныя размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Культуры находятся подъ колоколами вмѣстимостью около 2 литровъ. Черезъ колокола ежедневно въ теченіе 3 часовъ пропускается уличный воздухъ.

21/III. Проростки пересажены въ три гипсовые четырехгранные сосуда такъ, чтобы срединныя плоскости были параллельны между собою. Температура во время опыта $21^1/_2°$—24°.

	I.	II.	III.
22/III.	Стебли довольно сильно выросли, но образовалось только первое междоузліе. Во всѣ три колокола введено по $^1/_2$ cc. $^1/_2\%$ смѣси этилена съ воздухомъ послѣ 1-часового продуванія.		
	Проростки наклонены на брюшную сторону (на 20°).	Проростки наклонены на правый бокъ (на 20°).	Проростки наклонены на спинную сторону (на 20°).
23/III.	*Опытъ оконченъ.* Всѣ изогнулись въ ту сторону, куда были наклонены. Горизонтальныя части стеблей достигаютъ длины 3 см., не утолщены. Всего 10 проростковъ.	Всего 9 проростковъ. Семь проростковъ изогнулись въ ту сторону, куда были наклонены, два въ перпендикулярномъ направленіи къ плоскостямъ остальныхъ изгибовъ (они закручены).	Всего 10 проростковъ. Семь изогнулись въ ту сторону, куда были наклонены, одинъ въ перпендикулярномъ направленіи относительно плоскостей остальныхъ изгибовъ. Два проростка изогнулись въ сторону противоположную той, куда были наклонены.

29-ти проростковъ (во всѣхъ трехъ культурахъ) 24 изогнулись въ ту сторону, куда стебли были наклонены, то, я полагаю, можно считать доказаннымъ, что и у Tropaeolum направленіе изгибовъ опредѣляется не строеніемъ стебля, а лишь тѣмъ, куда онъ отклоненъ отъ линіи отвѣса.

Въ опытахъ надъ вліяніемъ лабораторнаго воздуха, свѣтильнаго газа и этилена, описанныхъ ранѣе (въ I-ой части), колокола съ проростками обыкновенно оставались въ вертикальномъ положеніи. Стебли гороха почти никогда не растутъ строго по отвѣсной линіи, обыкновенно они нѣсколько уклоняются отъ нея въ ту или другую сторону. Можетъ быть, уличный воздухъ, которымъ мнѣ приходилось пользоваться, содержитъ примѣси, оказывающія вліяніе на геотропическія свойства проростковъ, но мнѣ нерѣдко приходилось видѣть стебли, сохранявшіе въ теченіе долгаго времени случайно принятое наклонное положеніе. Кромѣ того, верхняя часть стебля всегда нѣсколько отогнута на спинную сторону вслѣдствіе волнообразной нутаціи. Поэтому въ обычныхъ условіяхъ изгибы должны быть оріентированы различно, смотря потому, куда случайно былъ наклоненъ тотъ или другой стебель, у выросшихъ же совершенно вертикально — они должны быть направлены на спинную сторону. Просматривая фотографическіе снимки прежнихъ опытовъ, я убѣдился, что это, дѣйствительно, такъ и было, какъ можно хорошо видѣть на рис. 10, 16 и 17, табл. II, ч. I.

Понятнымъ становится и то, что если стебель разъ уже образовалъ геотропическій изгибъ въ чистомъ воздухѣ, направившись вверхъ, то послѣдующій изгибъ, подъ вліяніемъ этилена, приводящій конецъ стебля въ горизонтальное направленіе, происходитъ въ той же плоскости: изгибаясь кверху, стебель обыкновенно не достигаетъ отвѣснаго направленія, или же, въ болѣе рѣдкихъ случаяхъ, переходитъ черезъ него, поэтому второй изгибъ, направляясь по наклону, и оказывается въ зависимости отъ перваго. Впослѣдствіи, для разныхъ цѣлей, мнѣ представлялась надобность получать изгибы въ опредѣленную сторону. Въ такихъ случаяхъ я наклонялъ стебли въ соотвѣтствующемъ направленіи и всегда получалъ ожидаемый результатъ. Слѣдуетъ, однако, замѣтить, что для гороха это не вполнѣ относится къ первому междоузлію (надсѣмядольному колѣну); въ немъ вліяніе волнообразной нутаціи оказывается слишкомъ сильно. У Tropaeolum же и въ первомъ междоузліи изгибы легко происходятъ по тому направленію, куда стебли наклонены.

Выводы.

Результаты опытовъ, описанныхъ въ этой главѣ, приводятъ къ слѣдующему заключенію относительно причины образованія перваго изгиба стеблями, выросшими вертикально въ чистомъ воздухѣ и затѣмъ подвергнутыми вліянію этилена.

1) Стебли изгибаются только до тѣхъ поръ, пока верхняя часть не достигнетъ горизонтальнаго направленія;

2) разъ достигнувъ его, они продолжаютъ расти горизонтально въ теченіе неопредѣленно долгаго времени;

3) при всякомъ положенiи стеблей относительно горизонта, будутъ ли они направлены отвѣсно вверхъ или внизъ, или подъ какимъ-нибудь угломъ выше или ниже его, изгибы происходятъ лишь до горизонтальнаго направленія;

4) заранѣе приведенные въ горизонтальное положенie, стебли не даютъ изгибовъ подъ влiянiемъ этилена.

Отсюда слѣдуетъ, что сила тяжести принимаетъ участie въ образованiи изгибовъ. Далѣе:

5) на клиностатѣ, вращаемые вокругъ горизонтальной оси и укрѣпленные параллельно ей, проростки не даютъ изгибовъ подъ влiянiемъ этилена, причемъ не наблюдается также и значительнаго усиленiя волнообразной нутацiи или какихъ-либо иныхъ измѣненiй интенсивности роста на разныхъ сторонахъ стебля;

6) если во время дѣйствiя этилена проростки нѣсколько отклонены отъ вертикальной линiи, то при образованiи изгиба верхнія части стеблей направляются въ ту сторону, куда проростки были наклонены, независимо отъ положенiя срединной плоскости, т. е. стебли, подвергнутые влiянiю этилена, относятся къ уклоненiю отъ линiи отвѣса совершенно такъ, какъ тѣ органы, которымъ въ естественныхъ условiяхъ свойственъ трансверсальный геотропизмъ, и ничѣмъ инымъ, кромѣ измѣненiя формы геотропизма, указанная зависимость орiентировки изгибовъ отъ наклоненiя стеблей не можетъ быть объяснена.

Послѣдними двумя результатами непосредственно опредѣляется природа изслѣдуемыхъ изгибовъ и доказывается, что геотропизмъ не только принимаетъ участie въ образованiи этихъ изгибовъ, но, претерпѣвая качественное измѣненie, является единственной внутренней причиной ихъ.

Гл. II. Геотропическія свойства стеблей, растущихъ въ воздухѣ съ примѣсью этилена.

Превращенie отрицательнаго геотропизма въ трансверсальный *въ моментъ дѣйствія* этилена или лабораторнаго воздуха, мнѣ кажется, установлено съ достаточной степенью вѣроятности, но возникаетъ вопросъ, сохраняютъ ли проростки прiобрѣтенную новую форму геотропизма? Быть можетъ, со временемъ возстановляется отрицательный геотропизмъ или же состоянie стеблей при образованiи перваго изгиба представляетъ собою лишь переходъ къ полной утратѣ геотропической чувствительности?

Ростъ стеблей, направленныхъ горизонтально.

Для рѣшенія этого вопроса былъ произведенъ рядъ опытовъ, и изъ нихъ два развѣдочныхъ были сдѣланы еще въ то время, когда разыскивалось дѣйствующее начало лабораторнаго воздуха. Поэтому они и относятся къ влiянiю именно лабораторнаго воздуха, а не этилена, какъ было въ остальныхъ случаяхъ.

Матерiаломъ для перваго изъ нихъ послужили проростки, развивавшiеся передъ тѣмъ въ лабораторномъ воздухѣ, который былъ предварительно прокаленъ съ окисью мѣди и такимъ образомъ былъ освобожденъ отъ примѣси газа. Поэтому стебли въ немъ росли вертикально. Самые длинные изъ нихъ къ началу опыта достигали 12 см. Эти проростки были

вынуты изъ-подъ стекляннаго колокола, прикрыты жестянымъ цилиндромъ и приведены въ горизонтальное положеніе въ темной комнатѣ лабораторіи, но жестяной цилиндръ былъ закрытъ не герметически, и окружающій воздухъ имѣлъ свободный доступъ къ стеблямъ. Черезъ недѣлю оказалось, что всѣ они значительно выросли (до 20 см.), причемъ пять проростковъ (изъ семи) сохранили горизонтальное направленіе, два же, свѣсившіеся и прикоснувшіеся нижней стороной къ стѣнкѣ цилиндра, дали изгибы вверхъ, вслѣдствіе чего концы ихъ направились вертикально. Мнѣ неоднократно случалось наблюдать, что если конецъ стебля (въ воздухѣ съ примѣсью этилена) прикоснется къ чему-нибудь твердому, напримѣръ къ стѣнкѣ колокола, то онъ круто изгибается въ противоположную сторону. Послѣ изгиба конецъ стебля можетъ принять любое направленіе въ зависимости отъ того, какой стороной онъ прикоснется: если онъ растетъ горизонтально и касается вертикальной стѣнки колокола, то изгибъ происходитъ въ горизонтальной плоскости, если же онъ касается горизонтальной поверхности нижней стороной, то изогнувшись направляется вверхъ. Происхожденія этихъ изгибовъ я не изслѣдовалъ и причины ихъ образованія указать не могу. По формѣ они сильно отличаются отъ тѣхъ, которые образуются у вертикально направленныхъ стеблей, подвергнутыхъ вліянію этилена: прикоснувшись къ твердой поверхности, стебель образуетъ обыкновенно правильную дугу круга съ короткимъ радіусомъ, приблизительно въ 180° или болѣе, тогда какъ при переходѣ подъ вліяніемъ этилена изъ вертикальнаго направленія въ горизонтальное изгибъ происходитъ на очень маломъ протяженіи и подъ угломъ, подобно тому, какъ это бываетъ у корней, приведенныхъ въ горизонтальное положеніе.

Второй опытъ надъ вліяніемъ лабораторнаго воздуха на нормальные проростки, приведенные въ горизонтальное положеніе (опытъ 37 п), далъ тотъ же результатъ, какъ и первый: стебли продолжали расти горизонтально. Проростки, въ теченіе 6 дней развивавшіеся въ уличномъ воздухѣ, были помѣщены въ темной комнатѣ, открыто, въ горизонтальномъ положеніи; они продолжали расти, сохраняя приданное имъ направленіе, и за 4 дня выросли въ среднемъ на $7^1/_2$ см., но одинъ стебель сначала образовалъ дугообразный изгибъ въ горизонтальной плоскости, затѣмъ свѣсился внизъ, коснулся стола и вновь изогнулся правильной дугой, кверху вслѣдствіе чего конецъ его принялъ вертикальное направленіе.

Опытъ 37 п. Горохъ.

26/VI. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Культура помѣщена за окномъ въ ящикѣ, непропускающемъ свѣта.

2/VII. Развилось 5 проростковъ; стебли ихъ тонки, направляются почти вертикально, около $4^1/_2$ см. длиною. Культура перенесена въ темную комнату; стеблямъ придано горизонтальное направленіе.

6/VII. *Опытъ оконченъ.* Стебли выросли больше, чѣмъ вдвое, не утолщены; 4 изъ нихъ сохранили горизонтальное направленіе, они слабо изгибаются, пятый образовалъ крутой изгибъ въ горизонтальной плоскости, затѣмъ по тяжести склонился и отъ того мѣста, которымъ коснулся стола, образовалъ крутой дугообразный изгибъ вверхъ.

Лучше сохранялось горизонтальное направленіе стеблями въ томъ случаѣ, если они подвергались вліянію этилена, а не лабораторнаго воздуха. Въ одномъ изъ такихъ опы-

товъ (оп. 86) четырехдневные проростки, приведенные въ горизонтальное положеніе, въ разныхъ культурахъ были обращены кверху разными сторонами, а именно въ I культурѣ — брюшной стороной, во II — лѣвымъ бокомъ, въ III — правымъ бокомъ и въ IV — спинной стороной, V культура была оставлена — въ качествѣ контрольной — въ вертикальномъ положеніи. Такимъ образомъ по результату можно было судить также и о томъ, одинаково ли относятся къ вліянію силы тяжести разныя стороны стебля. Опытъ продолжался 6 дней. За это время стебли выросли приблизительно вдвое и сохраняли до конца опыта горизонтальное направленіе, тогда какъ контрольные дали крутые изгибы, которыми верхнія части стеблей направились также горизонтально и затѣмъ продолжали расти въ принятомъ направленіи. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, кривизна второй фазы волнообразной нутаціи была усилена, вслѣдствіе чего стебли были нѣсколько искривлены, но въ общемъ направленіе ихъ не болѣе уклонялось отъ горизонтальнаго, чѣмъ это бываетъ у большинства трансверсально геотропичныхъ органовъ въ естественныхъ условіяхъ.

Опытъ 86. Горохъ.

4/XI. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Культуры помѣщаются подъ 2-литровыми колоколами, черезъ которые непрерывно продувается уличный воздухъ.

5/XI. Проростки (по 10 шт. въ каждой культурѣ) пересажены такъ, чтобы срединныя плоскости ихъ были параллельны между собою; при пересадкѣ сѣмядоли были зажаты между узкими стеклянными матовыми пластинками, чтобы удержать проростки въ приданномъ положеніи; колокола продувались уличнымъ воздухомъ въ теченіе $4^1/_2$ часовъ.
Температура во время опыта 19°—25°.

	I.	II.	III.	IV.	V.
	Стебли обращены брюшной стороной кверху.	Стебли обращены боковой (правой) стороной кверху.	Стебли обращены боковой (лѣвой) стороной кверху.	Стебли обращены спинной стороной кверху.	Контрольная культура, въ вертикальномъ положеніи.
8/XI.	Культуры I, II, III и IV приведены въ горизонтальное положеніе. Во всѣ 5 колоколовъ съ этого дня вводится ежедневно по $^1/_2$ cc. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ.				
11/XI.	Растутъ, сохраняя приданное имъ направленіе.				Образовались изгибы.
14/XI.	*Опытъ оконченъ.* Стебли сильно выросли, въ общемъ сохранивъ горизонтальное направленіе.	Какъ въ I-ой культурѣ.	Нѣкоторые стебли искривлены на спинную сторону, въ остальномъ — какъ въ I-ой культурѣ.	Какъ въ III-ей культурѣ.	Всѣ стебли дали изгибы, кромѣ одного, у котораго верхушка отмерла. Послѣ изгиба концы стеблей росли въ направленіи, близкомъ къ горизонтальному. Приросты—отъ $1^1/_2$ до 4,3 см.

Опытъ былъ повторенъ, съ тѣмъ отличіемъ, что во всѣхъ четырехъ культурахъ проростки были обращены кверху боковой стороной (опытъ 87, рис. 5, табл. I). Въ теченіе 6 дней, послѣ того какъ культуры были приведены въ горизонтальное положеніе, стебли сильно выросли, но только немногіе изъ нихъ дали слабые изгибы кверху. Это наблюдалось у тѣхъ, которые раньше росли нѣсколько косо и поэтому, когда культурамъ было придано горизонтальное положеніе, оказались направленными наклонно внизъ.

Опытъ 87. Горохъ. *(Рис. 5, табл. I)*

21/XI. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены. Культуры находятся подъ стеклянными колоколами около 2 литровъ вмѣстимостью.

23/XI. Проростки пересажены такъ, чтобы срединныя плоскости у всѣхъ были параллельны между собой. Температура 20°—25°.

	I, II, III, IV.	V. Контрольная культура.
26/XI.	Стебли (во всѣхъ пяти культурахъ) не болѣе 5 см. въ длину. Образовалось только первое междоузліе.	
	Культуры (I—IV) приведены въ горизонтальное положеніе; проростки обращены кверху боковой стороной. Съ этого дня вводится во всѣ пять колоколовъ ежедневно по $1/2$ cc. $1/2$% смѣси этилена съ воздухомъ, послѣ $1/4$-часоваго продуванія.	Культура оставлена въ вертикальномъ положеніи.
28/XI.	Стебли растутъ горизонтально; изгибовъ нѣтъ.	Начались изгибы.
1/XII.	*Опытъ окончен.* Въ общемъ большинство проростковъ сохранило направленіе, близкое къ горизонтальному, но многіе образовали очень пологіе дугообразные изгибы но всей длинѣ той части стебля, которая развилась во время пребыванія въ воздухѣ съ примѣсью этилена; у 10 проростковъ они достигли 25°—30°, и только въ одномъ случаѣ стебель изогнулся по дугѣ немного менѣе половины окружности. Дугообразные изгибы образовались у тѣхъ стеблей, которые были направлены косо внизъ, когда культурамъ было придано горизонтальвое положеніе; стебли свѣсились, такъ какъ не были закрѣплены, какъ въ предыдущемъ опытѣ, и притомъ сѣмена были посажены слишкомъ близко къ поверхности почвы. Чѣмъ болѣе были стебли наклонены внизъ, тѣмъ круче ихъ изгибы; они особенно бросаются въ глаза въ I культурѣ, гдѣ они имѣются у 8 проростковъ изъ 10 и гдѣ первоначально стебли болѣе всего свѣшивались. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ верхушки стеблей, послѣ дугообразнаго изгиба, вновь начали изгибаться, въ противоположную сторону, т. е. къ горизонтальной плоскости. Такіе вторичные изгибы появились у 7 стеблей па самомъ концѣ.	8 стеблей изогнулись; изъ нихъ 3 направились почти горизонтально, 5 — подъ разными углами отъ 45° до 60° съ отвѣсной линіей. Дна — не изогнулись,

На болѣе короткіе сроки, чѣмъ въ описанныхъ выше опытахъ, оставлять проростки въ горизонтальномъ положеніи приходилось во многихъ случаяхъ, для различныхъ цѣлей (напримѣръ, въ опытахъ надъ послѣдѣйствіемъ), и обыкновенно стебли сохраняли приданное имъ направленіе.

Такимъ образомъ, какъ въ лабораторномъ воздухѣ, такъ и подъ вліяніемъ этилена стебли, приведенные въ горизонтальное положеніе, во всѣхъ случаяхъ не давали изгибовъ и сохраняли приданное имъ направленіе, какъ если бы они не подвергались въ немъ одностороннему воздѣйствію силы тяжести или не испытывали геотропическаго раздраженія. Съ другой стороны концы стеблей, подвергшихся вліянію этилена въ вертикальномъ положеніи, принявъ горизонтальное направленіе, при дальнѣйшемъ ростѣ подобнымъ же образомъ относятся къ дѣйствію силы тяжести. Все это хорошо согласуется съ предположеніемъ, что вновь пріобрѣтенная форма геотропизма сохраняется и что горизонтальное направленіе представляетъ для стеблей, растущихъ въ воздухѣ съ примѣсью этилена, положеніе устойчиваго равновѣсія въ геотропическомъ отношеніи, но тоже самое должно происходить и въ томъ случаѣ, если послѣ перваго изгиба геотропическая чувствительность утрачивается. Если же горизонтальное направленіе дѣйствительно сохраняется только потому, что оно представляетъ собою положеніе покоя, то концы стеблей, растущихъ горизонтально въ воздухѣ съ примѣсью этилена, должны возвращаться къ нему, образуя изгибы, если ихъ направить какъ-нибудь иначе.

Ростъ стеблей, выведенныхъ изъ горизонтальнаго положенія.

Опыты производились такъ, чтобы всѣ остальныя условія, кромѣ направленія ростковъ, по возможности сохранялись неизмѣнными, но постановка ихъ была различна. Въ первыхъ трехъ опытахъ матеріаломъ служили проростки, которые передъ тѣмъ уже разъ образовали изгибы, переходя отъ вертикальнаго направленія къ горизонтальному. Въ этихъ опытахъ, послѣ того какъ проростки въ теченіе нѣсколькихъ дней развивались въ лабораторномъ воздухѣ (опытъ 37 i) или въ уличномъ воздухѣ съ примѣсью этилена (опыты 93-й и 94-й), культуры приводились въ такое положеніе, чтобы концы большинства стеблей получили направленіе, близкое къ вертикальному, (причемъ, разумѣется, они оставались въ воздухѣ того же состава, какъ и раньше). Какъ видно на фотографіи (рис. 6, табл. I), концы стеблей послѣ этого изгибались, стремясь вновь принять горизонтальное направленіе.

Въ **опытѣ 37 i** проростки все время развивались въ лабораторномъ воздухѣ, въ темной комнатѣ. Такъ какъ это происходило лѣтомъ, то въ лабораторіи воздухъ содержалъ мало свѣтильнаго газа. Поэтому проростки вышли изъ почвы, направляясь вверхъ, хотя и росли не вертикально, а наклонно (приблизительно подъ угломъ 45°); затѣмъ они дали изгибы въ разныя стороны и приняли почти горизонтальное направленіе. Черезъ 6 дней вся культура была приведена въ горизонтальное положеніе, вслѣдствіе чего концы стеблей оказались направленными: у 4 проростковъ почти вертикально вверхъ, у одного — внизъ, у двухъ — наклонно вверхъ и, наконецъ, у трехъ остальныхъ — горизонтально. На четвертый день послѣ этого оказалось, что всѣ стебли изогнулись и приняли горизонтальное направленіе, кромѣ трехъ послѣднихъ, потому что они имѣли его уже при началѣ опыта.

Опытъ 37 i. Горохъ.

26/VI. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Культура помѣщена въ темной комнатѣ подъ стекляннымъ колоколомъ, который внутри выстланъ мокрой фильтровальной бумагой, причемъ доступъ лабораторнаго воздуха не устраненъ.

2/VII. Стебли растутъ горизонтально, изгибаясь въ разныя стороны. Культура приведена въ горизонтальное положеніе такъ, чтобы бо́льшая часть стеблей была направлена вверхъ (3 стебля; 2 косо кверху; 2 — горизонтально, 2 — внизъ).

6/VII. *Опытъ оконченъ.* Концы стеблей у всѣхъ проростковъ приняли горизонтальное направленіе.

Такой же результатъ получился и въ томъ случаѣ, когда проростки подвергались вліянію не лабораторнаго воздуха, а этилена, т. е. когда развивавшіеся нѣкоторое время въ чистомъ воздухѣ стебли, принявшіе затѣмъ подъ вліяніемъ этилена горизонтальное направленіе и сохранявшіе его въ теченіе нѣсколькихъ дней, были изъ этого положенія выведены. Въ **опытѣ 93**-мъ первые изгибы (при вертикальномъ положеніи культуры, когда первый разъ былъ введенъ этиленъ въ колоколъ) произошли въ различныхъ направленіяхъ, и когда черезъ нѣсколько дней культура была приведена въ горизонтальное положеніе, то изъ 11 стеблей пять было направлено вверхъ, столько же — наклонно внизъ и одинъ — горизонтально. Изъ нихъ большинство дали изгибы и приняли вновь горизонтальное направленіе.

Опытъ 93. Горохъ.

24/II. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Культура помѣщена подъ колоколомъ въ 2 литра вмѣстимостью, въ чистомъ воздухѣ. Температура $18^1/_2$°—22°.

1/III. Введено въ колоколъ $^1/_2$ cc. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ.

2/III. Съ этого дня вводится по 1 cc. той же смѣси ежедневно. Появились изгибы въ разныя стороны.

6/III. Послѣ изгибовъ концы стеблей растутъ горизонтально. Культура помѣщена на клиностатъ (въ колоколѣ, черезъ который продувается уличный воздухъ) такимъ образомъ, чтобы нижнія части стеблей, которыя развивались въ чистомъ воздухѣ и росли вертикально, были направлены параллельно горизонтальной оси, концы же ихъ — приблизительно подъ прямымъ угломъ къ ней. Во время продуванія стебли вращались. Черезъ $^1/_4$ часа продуваніе прекращено и въ колоколъ введенъ 1 cc. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ. Клиностатъ остановленъ.

7/III. Концы стеблей начали вновь изгибаться.

8/III. Направленные вверхъ концы стеблей достигли горизонтальнаго направленія, направленные внизъ — изогнулись только на 45°.

9/III. Всѣ растутъ въ принятомъ направленіи.

10/III. Направленные внизъ концы стеблей образовали новые изгибы къ горизонтальному направленію, въ другомъ мѣстѣ, чѣмъ прежде, ближе къ вершинѣ.

11/III. *Опытъ оконченъ.* Вверхъ было направлено 5 стеблей, они всѣ приняли горизонтальное направленіе. Наклонно внизъ было направлено также 5 стеблей, двумя послѣдовательными изгибами 3 изъ нихъ достигли горизонтальнаго направленія, 2 — изогнулись слабо (не доходятъ до горизонтальнаго направленія), одинъ, находившійся въ горизонтальномъ положеніи, — далъ изгибъ книзу на 45°.

Въ опытѣ 94-мъ проростки сначала развивались въ чистомъ воздухѣ; затѣмъ, когда въ колокола былъ введенъ этиленъ, культуры были наклонены (приблизительно на 40°), чтобы получить горизонтальныя части, направленныя въ каждой культурѣ параллельно между собою. Дѣйствительно, концы стеблей изогнулись въ ту сторону, куда были наклонены (конечно, не подъ прямымъ угломъ къ нижней части стебля, такъ какъ она была направлена не вертикально). Черезъ 6 дней культуры (вмѣстѣ съ колоколами) были при-

Опытъ 94. Горохъ. *(Табл. I, рис. 6)*

24/II. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Культуры помѣщаются подъ колоколами вмѣстимостью около 2 литровъ, черезъ которые ежедневно пропускается уличный воздухъ въ теченіе $^1/_2$—1 часа.

1/III. Проростки во всѣхъ культурахъ растутъ прямо вверхъ. Послѣ $^1/_2$-часоваго продуванія введено во всѣ колокола по $^1/_2$ cc. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ, и культуры наклонены приблизительно на 40° отъ вертикальной линіи; проростки обращены кверху свинной стороной. Всего 4 культуры.

2/III. Появились изгибы. Введено по $^1/_2$ cc. той же смѣси послѣ $^1/_2$-часоваго продуванія. То же количество этилена вводилось и въ слѣдующіе дни.

4/III. Верхнія части стеблей во всѣхъ культурахъ достигли горизонтальнаго направленія.

7/III. Концы стеблей послѣ изгиба сильно выросли. Культуры приведены въ горизонтальное положеніе такимъ образомъ, чтобы концы стеблей были направлены кверху (подъ угломъ около 60°), кромѣ III культуры, въ которой у большинства стеблей вершины были направлены внизъ. Съ этого дня вводится по $1^1/_2$—1 cc. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ послѣ 5-минутнаго продуванія.

8/III. Появились изгибы.

10/III. Изгибы вполнѣ развиты.

11/III. *Опытъ оконченъ.* Почти у всѣхъ стеблей концы изогнулись и снова приняли направленіе, близкое къ горизонтальному, но во II культурѣ одинъ стебель сначала образовалъ слишкомъ большой изгибъ книзу, затѣмъ онъ изогнулся второй разъ, кверху, и такимъ образомъ конецъ его направился горизонтально; у 2 стеблей верхушки по тяжести свѣшиваются ниже горизонтальнаго направленія; въ III культурѣ два стебля, коснувшись стѣнки колокола нижней стороной, образовали крутые дугообразные изгибы кверху и направились почти вертикально; въ IV культурѣ одинъ стебель не изогнулся, т. к. пересталъ расти. Такъ какъ положеніе I-й культуры во время опыта по ошибкѣ не было отмѣчено, то она оставлена безъ вниманія.

ведены въ горизонтальное положеніе такъ, чтобы концы стеблей направились косо вверхъ. На другой же день появились изгибы, а черезъ три дня они достигли окончательной величины. Концы стеблей вновь приняли направленіе, близкое къ горизонтальному, при чемъ они изогнулись такъ же, какъ и въ первый разъ, *въ ту сторону, куда были наклонены*[1]).

Наличность перваго изгиба, образовавшагося при переходѣ отъ вертикальнаго направленія къ горизонтальному можетъ дать поводъ къ нѣкоторому сомнѣнію, такъ какъ вообще послѣ перваго изгиба на небольшомъ разстояніи отъ него, ближе къ вершинѣ, иногда возникаетъ (повидимому, безпричинно) изгибъ въ обратную сторону (особенно часто это наблюдалось у проростковъ вики). Такъ какъ въ данномъ случаѣ стебли, изогнувшись въ первый разъ до горизонтальнаго направленіе, росли затѣмъ горизонтально въ теченіе долгаго времени (4—5 дней), то едва ли есть основаніе полагать, что изгибы, образовавшіеся послѣ того, какъ концы стеблей были выведены изъ горизонтальнаго положенія, произошли не вслѣдствіе перемѣны направленія проростковъ относительно горизонта, но только оттого, что стебли передъ тѣмъ уже разъ изогнулись. Однако, все же было сдѣлано нѣсколько опытовъ и надъ такими стеблями, которые во время пребыванія въ воздухѣ съ примѣсью этилена не имѣли изгибовъ, такъ какъ заранѣе были приведены въ горизонтальное положеніе.

Такихъ опытовъ было три. Въ двухъ изъ нихъ матеріаломъ служили проростки гороха (**опыты 105-й и 106-й**), въ третьемъ — проростки настурціи (**опытъ 121-й**).

Чтобы сохранить неизмѣненными всѣ условія, кромѣ направленія стеблей, въ этихъ опытахъ проростки приводились въ вертикальное положеніе приблизительно черезъ 20 часовъ послѣ того, какъ былъ введенъ въ колокола этиленъ въ послѣдній разъ, и затѣмъ въ опытѣ 121-мъ (Tropaeolum) онъ болѣе не вводился, въ опытѣ 105-мъ — былъ введенъ черезъ 24 часа, а въ опытѣ 106-мъ — черезъ 5 часовъ послѣ перемѣны направленія проростковъ. Стебли гороха были подвергнуты въ первый разъ дѣйствію этилена и приведены въ горизонтальное положеніе въ возрастѣ 6—7 дней. Вновь направлены вертикально они были черезъ 2—3 дня. Нѣтъ надобности прибавлять, что къ этому времени они оставались почти

Опытъ 105. Горохъ.

1/III. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Культуры (двѣ) помѣщены подъ колоколами, черезъ которые пропускается уличный воздухъ ежедневно по 3 часа. Въ каждой культурѣ по 10 растеній.

7/III. Колокола (первый 3,8 литра, второй 2,4 литра) соединены между собою каучуковой трубкой. Въ первый колоколъ введено 2 cc. $1/2\%$ смѣси этилена съ воздухомъ, и затѣмъ обѣ культуры приведены въ горизонтальное положеніе такимъ образомъ, что проростки обращены книзу спинной стороной. Съ этого дня то же количество этилена вводится ежедневно.

10/III. Всѣ стебли растутъ почти горизонтально. Культуры приведены въ вертикальное положеніе. Въ этотъ день этиленъ не былъ введенъ, въ слѣдующіе — вводился.

11/III. Появились изгибы у всѣхъ стеблей.

13/III. *Опытъ оконченъ.* Послѣ изгиба концы стеблей растутъ приблизительно въ горизонтальномъ направленіи. Въ I колоколѣ, въ который вводился газъ, всѣ стебли сильно утолщены и коротки; во II колоколѣ, куда газъ проникалъ изъ I-го по каучуковой трубкѣ, не утолщены и длинны, но изогнуты.

---

1) Такъ какъ стебли въ первый разъ изогнулись не подъ прямымъ угломъ, то при горизонтальномъ положеніи всей культуры они оказались наклоненными въ сторону отъ поверхности почвы.

Опытъ 106. Горохъ.

1/III. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Культуры помѣщены въ 2-литровыхъ колоколахъ, черезъ которые по 3 часа въ день пропускается уличный воздухъ.

8/III. Во всѣ четыре колокола введено по 1/2 сс. 1/2% смѣси этилена съ воздухомъ. Культуры приведены въ горизонтальное положеніе. Съ этого дня вводятся въ колокола тѣ же количества этилена ежедневно.

10/III. Стебли продолжаютъ расти почти горизонтально. Культуры приведены въ вертикальное положеніе. Этиленъ былъ введенъ черезъ 5 часовъ послѣ того, какъ было измѣнено направленіе проростковъ.

13/III. *Опытъ оконченъ.* Изъ 45-ти 42 стебля образовали изгибы, направившись вновь почти горизонтально; концы стеблей послѣ изгиба достигаютъ длины 4—5 см.; 3 стебля не изогнулись, концы ихъ сильно утолщены, за все время пребыванія въ воздухѣ съ примѣсью этилена приростъ ихъ ограничился однимъ сантиметромъ.

прямыми, т. е. находясь въ горизонтальномъ положеніи въ воздухѣ съ примѣсью этилена не измѣнили своего направленія. Но послѣ того какъ они были опять направлены вертикально, на другой же день появились изгибы, а черезъ три дня почти всѣ стебли оказались изогнувшимися до горизонтальнаго направленія (въ опытѣ 105-мъ — всѣ 20, въ опытѣ 106-мъ — 42 изъ 45-и, при чемъ остальные три — почти остановились въ ростѣ).

У Tropaeolum реакція обнаружилась гораздо скорѣе (опытъ 121-й). Восьмидневные проростки были приведены въ горизонтальное положеніе въ воздухѣ съ обычнымъ содержаніемъ этилена на однѣ сутки и затѣмъ вновь направлены вертикально. Уже черезъ 3½ часа появились изгибы, а еще 1 часъ спустя, изъ 48-ми проростковъ только одинъ не изогнулся: у 26-ти изъ нихъ верхнія части стеблей направились горизонтально, у 20-ти — еще не достигли горизонтальнаго направленія, одинъ изогнулся приблизительно на 135°.

Опытъ 121. Tropaeolum majus.

7/II. Нестерилизованныя, размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Культуры (четыре) помѣщаются подъ 2-литровыми колоколами, черезъ которые непрерывно продувается уличный воздухъ.

14/II. Проростки достигаютъ длины 2—4 см. Пересажены по 12 шт. въ гипсовые сосуды со стеклянными трубками, въ которыя введены стебли (въ вертикальномъ положеніи).

15/II. Концы стеблей выросли изъ трубокъ. Введено по 1/2 сс. 1/2% смѣси этилена съ воздухомъ, и культуры приведены въ горизонтальное положеніе, такимъ образомъ, чтобы стебли были обращены внизъ спинной стороной.

16/II. Этиленъ не вводился. Въ 10 ч. 25 м. культуры были приведены въ вертикальное положеніе. Въ 2 ч. 9 м. замѣчено, что нѣкоторые стебли образовали изгибы. Въ 3 ч. 15 м. у 26 стеблей верхніе концы направились горизонтально, у 20 — еще не достигли горизонтальнаго положенія, у одного — около 45° ниже горизонта, 1 — не изогнулся.

Опытъ оконченъ. Въ 4 ч. перемѣнъ въ направленіи не было замѣчено.

Такимъ образомъ и въ этихъ опытахъ получились результаты, доказывающіе, что стебли, долгое время сохранявшіе горизонтальное направленіе подъ вліяніемъ этилена, реагируютъ, какъ трансверсально геотропичные органы.

Какъ выше не разъ было упомянуто, стебли не всегда принимаютъ строго горизонтальное направленіе: нѣкоторые изъ нихъ долгое время могутъ расти наклонно выше или ниже горизонта, тогда какъ въ другихъ случаяхъ небольшого отклоненія достаточно, чтобы вызвать образованіе изгиба. Конечно, было бы весьма желательно точно опредѣлить для

стеблей, растущихъ въ воздухѣ съ примѣсью этилена, границы положенія покоя и неустойчиваго равновѣсія, а, слѣдовательно, и заключенной между ними сферы геотропическаго дѣйствія силы тяжести, т. е. другими словами форму «поля раздражительности», какъ его называетъ Noll[1]). Независимо отъ того, соотвѣтствуетъ ли дѣйствительности гипотеза Noll'я о строеніи аппарата, служащаго для воспріятія геотропическаго раздраженія, схемы, предложенныя Noll'емъ подъ именемъ «полей раздражительности», имѣютъ большую цѣнность, такъ какъ онѣ вполнѣ точно и въ чрезвычайно ясной формѣ показываютъ, въ какихъ положеніяхъ относительно направленія силы тяжести данный органъ испытываетъ раздраженіе или находится въ состояніи равновѣсія, устойчиваго или подвижнаго: правильно опредѣленное поле раздражительности есть какъ бы діаграмма геотропическихъ свойствъ. Такъ какъ въ сущности «поле раздражительности» представляетъ собой сферическую проекцію всѣхъ направленій, въ которыхъ изслѣдуемый органъ испытываетъ геотропическое раздраженіе, то подобная схема, разъ установленная, навсегда сохранитъ свое значеніе, являясь отраженіемъ данныхъ, полученныхъ путемъ опыта.

Понятіе «поле раздражительности» Noll опредѣляетъ слѣдующимъ образомъ. Сила тяжести вызываетъ побужденіе къ усиленному росту данной поверхности органа только въ тѣхъ случаяхъ, когда направленіе ея совпадаетъ съ однимъ изъ радіусовъ ограниченной части пространства вокругъ извѣстной точки соотвѣтствующей стороны органа. Эта часть пространства и можетъ быть названа «полемъ раздражительности» по аналогіи съ терминомъ «поле зрѣнія». Далѣе онъ говоритъ: «Какъ размѣры и положеніе поля зрѣнія зависятъ отъ устройства и положенія (Orientierung) глаза, такъ поле геотропической раздражительности зависитъ отъ устройства и положенія воспринимающаго аппарата (der reizbaren Struktur), оно есть, говоря математическимъ языкомъ, опредѣленная «функція» неизвѣстнаго воспринимающаго аппарата (der unbekannten reizbaren Struktur)»[2]).

Форма поля раздражительности опредѣляется изъ наблюденій надъ тѣмъ, при какихъ положеніяхъ даннаго органа дѣйствіе силы тяжести вызываетъ геотропическую реакцію. Предположимъ, что требуется опредѣлить для нѣкоторой точки органа предѣлы поля раздражительности, въ которыхъ ткани по продольной линіи, проходящей черезъ эту точку, испытываютъ побужденіе къ усиленному росту. Если мы будемъ вращать данный органъ въ вертикальной плоскости, проходящей черезъ ось его и эту точку, отмѣчая послѣдовательно всѣ тѣ направленія силы тяжести относительно продольной линіи, проходящей черезъ точку, избранную центромъ вращенія, при которыхъ ростъ соотвѣтствующей стороны усиливается, то крайнія изъ нихъ дадутъ величину угла и — соотвѣтственно ей — дуги круга (или, въ извѣстныхъ случаяхъ, величины двухъ отрѣзковъ дуги круга), представляющей собой мѣру поля раздражительности въ радіальной плоскости. Каждая форма геотропизма характеризуется нѣкоторой опредѣленной величиной и положеніемъ полей раздражительности. Такъ напримѣръ, для отрицательнаго геотропическаго органа верти-

1) Noll, Fr. Ueber heterogene Induktion. Leipzig. 1892, p. 19.

2) l. c., p. 19, примѣчаніе.

кальный разрѣзъ поля раздражительности (для усиленія роста) представляетъ собой дугу, почти равную половинѣ окружности и обращенную выпуклостью наружу (рис. 1). Положительно геотропичные органы имѣютъ поля раздражительности такой же формы, но обращенныя вогнутостью къ наружной поверхности. Для трансверсально геотропичнаго органа поле раздражительности представляется прерваннымъ (рис. 2). Если положеніе покоя соотвѣтствуетъ горизонтальной плоскости, то разрѣзъ поля раздражительности состоитъ изъ двухъ противолежащихъ четвертей окружности, какъ видно на прилагаемой схемѣ, гдѣ *a* — часть, обращенная къ основанію органа, *b* — къ вершинѣ; *cd* и *ef* — разрѣзъ поля раздражительности для усиленнаго роста верхней стороны; *gh* и *ik* — разрѣзъ соотвѣтствующаго поля раздражительности нижней стороны.

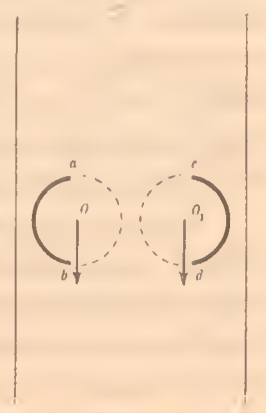


Рис. 1.

Данная схема слѣдующимъ образомъ опредѣляетъ отношеніе органа къ силѣ тяжести. Если мы представимъ себѣ, что онъ приводится въ различныя направленія относительно горизонта, то при такихъ положеніяхъ, когда вертикальная линія, проведенная внизъ изъ центра окружности, на которой отложены сѣченія поля раздражительности (отмѣченная на рисункахъ стрѣлкой), не пересѣкаетъ ни одного изъ этихъ сѣченій, — обѣ стороны, и верхняя, и нижняя растутъ равномѣрно. Во всѣхъ остальныхъ случаяхъ та сторона растетъ сильнѣе, которой соотвѣтствуетъ отрѣзокъ поля раздражительности, пересѣкаемый отвѣсной линіей. Такъ напримѣръ, если отклонить обращенный къ вершинѣ конецъ *b* книзу, то вертикальная линія, проведенная изъ точки O_1, пересѣчетъ дугу *ik*, и, слѣдовательно, нижняя сторона будетъ расти сильнѣе верхней до тѣхъ поръ, пока эта отвѣсная линія не перемѣстится съ дуги *ik* влѣво, т. е. пока органъ не вернется къ исходному положенію. При отклоненіи кверху, отвѣсная линія, проведенная изъ точки O_1, придется въ промежуткѣ между *h* и *k*, проведенная же изъ точки O — пересѣчетъ дугу *ef*, и, слѣдовательно, расти сильнѣе будетъ верхняя сторона. Отсюда ясно, что горизонтальное направленіе для даннаго органа представляетъ положеніе покоя, къ которому онъ возвращается изъ всякаго другого. Путемъ подобныхъ разсужденій мы придемъ къ выводу, что оба вертикальныя положенія (верхней частью книзу или кверху) являются положеніями неустойчиваго равновѣсія.

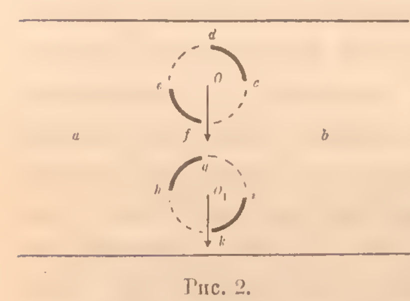


Рис. 2.

Къ сожалѣнію, схемы Noll'я, видимо, не нашли сочувствія со стороны изслѣдователей, работавшихъ въ области тропизмовъ; по крайней мѣрѣ, мнѣ не случалось встрѣчать ихъ примѣненія. Между тѣмъ, сообщая полную опредѣленность и ясность представленіямъ о геотропическихъ свойствахъ, онѣ чрезвычайно облегчаютъ обсужденіе результатовъ опытовъ, въ особенности относящихся къ болѣе рѣдкимъ, своеобразнымъ формамъ геотропизма или къ тѣмъ случаямъ, когда можно смѣшать геотропическіе изгибы съ настическими. Несомнѣнно,

подобныя схемы нерѣдко могли бы предостеречь отъ ошибокъ, напримѣръ такихъ, какую сдѣлалъ при изученіи геотропизма боковыхъ корней Czapek[1]), полагая, что боковой корень испытываетъ равное и противоположное геотропическое раздраженіе, если онъ послѣдовательно выводится изъ положенія покоя на одинаковый уголъ кверху и книзу, при чемъ величина угловъ была такова, что въ послѣднемъ случаѣ корню придавалось отвѣсное направленіе, тогда какъ при отклоненіи вверхъ, онъ, разумѣется, не былъ направленъ вертикально, такъ какъ предѣльный уголъ его былъ меньше прямого.

Какъ бы это ни было желательно, но для стеблей, растущихъ въ воздухѣ съ примѣсью этилена, едва ли представляется возможнымъ точно опредѣлить величину поля геотропической раздражительности, въ виду того, что форма геотропизма ихъ слишкомъ лабильна и, кромѣ того, есть слишкомъ много причинъ, въ силу которыхъ стебли уклоняются отъ принятаго направленія, какъ уже не разъ было упомянуто. Поэтому описываемый далѣе опытъ былъ произведенъ не съ этой цѣлью, но лишь для того чтобы приблизительно установить предѣлы положенія покоя и неустойчиваго равновѣсія. Въ этомъ опытѣ (117-мъ) проростки первое время находились въ чистомъ воздухѣ, и поэтому стебли ихъ росли вертикально. Затѣмъ въ колокола былъ введенъ этиленъ, и культурамъ было придано горизонтальное положеніе, при чемъ стебли были обращены книзу спинной стороной. Нѣсколько времени спустя, культуры, оставаясь въ воздухѣ съ примѣсью этилена, были приведены въ различныя положенія выше и ниже горизонта; I-ая — вертикально вверхъ, II-ая — подъ угломъ въ 45° вверхъ, III-ья — также кверху подъ угломъ 67°, IV-ая — горизонтально, V-ая — такъ же, какъ и вторая, подъ угломъ 45° вверхъ, но съ той разницей, что въ ней стебли были обращены кверху спинной стороной, тогда какъ тамъ — боковой; VI-ая — наклонно внизъ, подъ угломъ 45° и наконецъ, VII-ая — отвѣсно внизъ. Чтобы основанія стеблей сохраняли приданное имъ направленіе и верхніе концы не свѣшивались, проростки были введены въ короткія стеклянныя трубочки, которыя были закрѣплены въ верхней стѣнкѣ гипсовыхъ вегетаціонныхъ сосудовъ, имѣвшихъ почти кубическую форму. Чтобы сохранить неизмѣненными всѣ условія, кромѣ направленія стеблей, этиленъ былъ введенъ въ колокола за пять часовъ до того, какъ культурамъ были приданы различныя положенія относительно горизонта, и затѣмъ онъ болѣе не вводился.

На другой день оказалось, что въ I-ой, II-ой, III-ей и V-ой культурахъ (направленныхъ вверхъ подъ разными углами) концы стеблей вновь приняли горизонтальное направленіе; въ VII-ой культурѣ (направленной отвѣсно внизъ) они также изогнулись, но еще не вполнѣ достигли горизонтальнаго направленія; въ VI-ой культурѣ (наклоненной ниже горизонта на 45°) только два стебля дали изгибы вверхъ *на боковую сторону* (которой они были обращены кверху); здѣсь результатъ былъ затемненъ тѣмъ, что изъ остальныхъ стеблей нѣкоторые изогнулись на спинную сторону: такимъ образомъ концы ихъ оказались направленными горизонтально, но изгибы были оріентированы иначе, чѣмъ у первыхъ двухъ; часть стеблей — сохранила приданное направленіе.

1) Который впослѣдствіи и самъ призналъ свое разсужденіе неправильнымъ.

Опытъ 117. Горохъ.

12/XII. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Культуры помѣщаются подъ 2-литровыми колоколами, черезъ которые непрерывно пропускается уличный воздухъ (21°).

17/XII. (19°). Стебли достигаютъ длины отъ 2 до 4 см. Проростки пересажены въ гипсовые вегетаціонные сосуды съ трубками. Только у немногихъ проростковъ концы стеблей, введенныхъ въ трубки, выдаются наружу. Колокола продуваются по 1 часу уличнымъ воздухомъ.

19/XII. (21°). Концы стеблей, выросшіе изъ трубокъ, не у всѣхъ проростковъ направлены вертикально. Нѣкоторые имѣютъ слабые изгибы. Въ 3 часа введено во всѣ семь колоколовъ по $^1/_2$ cc. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ. Черезъ $1^1/_2$ часа послѣ этого культуры приведены въ горизонтальное направленіе (проростки обращены спинной стороной внизъ).

20/XII. (20°). Нѣкоторые стебли образовали слабые изгибы на спинную сторону (внизъ). Введено по $^1/_2$ cc. смѣси этилена съ воздухомъ во всѣ колокола послѣ 5-минутнаго продуванія уличнымъ воздухомъ.

21/XII. (21°). Стебли растутъ не совсѣмъ прямо. Въ 7 часовъ утра было введено во всѣ колокола по $^1/_2$ cc. смѣси этилена съ воздухомъ. Въ 12 ч. дня культуры направлены такимъ образомъ:

I — вертикально вверхъ,
II — наклонно подъ угломъ 45° выше горизонта,
III — » » » 67° » » ,
IV — горизонтально,
V — наклонно, подъ угломъ 45° выше горизонта, проростки обращены кверху спинной стороной,
VI — наклонно, подъ угломъ 45° ниже горизонта,
VII — отвѣсно внизъ.

Въ культурахъ II, III, IV и VI проростки кверху обращены боковой стороной.

22/XII. *Опытъ оконченъ.* I (Вертикально вверхъ). У всѣхъ стеблей верхніе концы изогнулись и приняли горизонтальное направленіе.

II (Вверхъ подъ угломъ 45°). 11 стеблей изогнулись въ ту сторону, куда была наклонена культура, и приняли горизонтальное направленіе, у двѣнадцатаго уже былъ одинъ изгибъ на боковую сторону, который образовался въ то время, когда стебли были направлены горизонтально спинной стороной внизъ; тогда онъ приходился въ горизонтальной плоскости; когда же культура была приведена въ наклонное положеніе, то конецъ этого стебля оказался направленнымъ вертикально, послѣ этого онъ далъ изгибъ въ противоположную сторону, чѣмъ остальные, и направился горизонтально.

III (Вверхъ подъ угломъ 67°). 10 стеблей дали изгибы въ ту сторону, куда были наклонены; 2 остались почти прямыми.

IV (Горизонтально). Растутъ въ прежнемъ направленіи.

V (Вверхъ подъ угломъ 45°). Проростки были обращены кверху спинной стороной. Такъ какъ раньше они имѣли уже слабые изгибы въ этомъ направленіи то концы ихъ оказались направленными вверхъ подъ угломъ, гораздо большимъ, чѣмъ 45°. Всѣ они дали изгибы въ ту сторону, куда были наклонены, и направились почти горизонтально.

VI (Внизъ подъ угломъ 45°). Только 2 проростка дали слабые изгибы на боковую сторону (кверху); остальные частью сохранили направленіе, частью изогнулись на спинную сторону, и такимъ образомъ концы ихъ направились горизонтально.

VII (Отвѣсно внизъ). Всѣ дали изгибы на спинную сторону, но только нѣкоторые приняли горизонтальное направленіе, остальные еще не достигли его.

* * *

Въ дѣйствіи геотропическаго раздраженія на тѣ части растеній, которымъ въ естественныхъ условіяхъ свойственъ трансверсальный геотропизмъ, наблюдается одна особенность, не нашедшая до сихъ поръ себѣ объясненія. Она состоитъ въ томъ, что если такой органъ выведенъ изъ положенія равновѣсія, то реакція наступаетъ съ различной скоростью въ зависимости отъ того, былъ ли онъ направленъ выше или ниже положенія равновѣсія (разумѣется, на одинаковой уголъ). Такъ, опыты Czapek'а показали, что если боковые корни отклонить изъ положенія предѣльнаго угла на 60° внизъ, то образованіе изгибовъ начинается приблизительно часомъ позже, чѣмъ въ томъ случаѣ, если ихъ направить подъ

соотвѣтствующимъ угломъ вверхъ[1]). То же самое раньше наблюдалъ относительно корневищъ Stahl[2]): направленныя отвѣсно или наклонно внизъ давали изгибы позже, чѣмъ тѣ, которыя были выведены изъ горизонтальнаго положенія на такой же уголъ кверху. Это наблюденіе подтвердилъ и Czapek[3]). Въ его опытахъ обнаружилось нѣкоторое различіе между корневищами и боковыми корнями, состоявшее, впрочемъ, только въ томъ, что корневища реагировали гораздо медленнѣе.

Maige, производившій изслѣдованія надъ ползучими стеблями, нашелъ, что такъ же неодинаково относятся къ индукціи въ различныхъ положеніяхъ и наземные горизонтальные побѣги, но у нихъ это сказывается не въ скорости образованія изгиба, а въ томъ, что если ихъ направить отвѣсно или наклонно внизъ, то они часто невполнѣ достигаютъ горизонтальнаго направленія, тогда какъ тѣ, которые были удалены отъ положенія равновѣсія на такой же уголъ вверхъ, послѣ изгиба направляются совершенно горизонтально; по скорости наступленія реакціи наземные ползучіе побѣги сходны съ корневищами[4]). Czapek[5]) относительно наземныхъ побѣговъ указывалъ, что они, въ противоположность корневищамъ и боковымъ корнямъ, скорѣе реагируютъ, если были отклонены внизъ отъ ихъ положенія равновѣсія, чѣмъ если ихъ направить подъ такимъ же угломъ вверхъ; но достигаютъ-ли они въ этомъ случаѣ горизонтальнаго направленія, — онъ не упоминаетъ. Какъ бы то ни было, различное отношеніе трансверсально геотропичныхъ органовъ къ индукціи въ зависимости отъ того, вверхъ или внизъ они направлены, очевидно, не было въ опытахъ Czapek'а случайностью: здѣсь проявилось одно изъ тѣхъ своеобразныхъ свойствъ трансверсально геотропичныхъ органовъ, которымъ онъ придавалъ особенное значеніе и которыя послужили основаніемъ для неудачной гипотезы о двоякомъ геотропизмѣ этихъ органовъ. Czapek предположилъ, что боковымъ корнямъ и корневищамъ свойственъ одновременно и трансверсальный, и положительный геотропизмъ, а наземнымъ плагіотропнымъ побѣгамъ — трансверсальный и отрицательный. Останавливаться на разсмотрѣніи этой слишкомъ маловѣроятной гипотезы нѣтъ надобности, тѣмъ болѣе, что впослѣдствіи отъ нея отказался и и самъ авторъ[6]); но самыя наблюденія Czapek'а, конечно, вполнѣ сохраняютъ свое значеніе. Замѣчательно, что то же свойство обнаруживаютъ и проростки гороха, пріобрѣтая трансверсальный геотропизмъ подъ вліяніемъ этилена. Стебли, развивавшіеся въ теченіе нѣкотораго времени въ чистомъ воздухѣ и затѣмъ подвергнутые вліянію этилена въ различныхъ положеніяхъ относительно горизонта, гораздо медленнѣе образуютъ изгибы, когда они направлены отвѣсно или наклонно внизъ, чѣмъ если ихъ направить подъ соотвѣтствующими углами кверху. Тоже самое наблюдается и при образованіи изгибовъ стеблями,

---

1) Czapek, Fr. Ueber d. Richtungsursachen d. Seitenwurzeln und einiger anderer plagiotroper Pflanzentheile. Sitzungsb. d. K. Ak. d. Wiss. in Wien. Bd. 104. 1895. Abth. I. S. 1213.

2) Stahl, E. Einfluss des Lichtes auf den Geotropismus einiger Pflanzenorgane. Ber. d. D. Bot. Ges. Bd. 2, p. 387. 1884.

3) l. c., p. 1231.

4) Maige, A. Recherches biologiques sur les plantes rampantes. Ann. des Sc. nat. 8-e Série. T. XI, p. 339. 1900.

5) l. c., p. 1236.

6) Czapek, Fr. Weitere Beiträge zur Kenntniss der geotrop. Reizbewegungen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 32, p. 247. 1898.

росшими долгое время подъ вліяніемъ этилена въ горизонтальномъ направленіи и затѣмъ выведенными изъ него.

Что касается положенія устойчиваго равновѣсія, то оно во всѣхъ случаяхъ было одинаково: рано или поздно концы стеблей направлялись горизонтально, но во времени разница была весьма значительна: наклоненные ниже горизонта, стебли начинали изгибаться позже на нѣсколько часовъ (а иногда на сутки и болѣе), чѣмъ тѣ, которые были направлены вверхъ. Такъ въ опытѣ 112-мъ у стеблей, наклоненныхъ внизъ, изгибы были замѣчены тремя днями позже, чѣмъ у находившихся въ вертикальномъ положеніи (въ этомъ случаѣ доза этилена была сравнительно велика); въ опытѣ 115-мъ на другой день послѣ введенія этилена концы стеблей, направленныхъ вертикально вверхъ, уже достигли горизонтальнаго положенія, тогда какъ у наклоненныхъ ниже горизонта первые изгибы начали появляться черезъ 6 часовъ послѣ этого; въ указанный срокъ всѣ стебли дали изгибы только въ той культурѣ, которая была направлена внизъ отвѣсно, тогда какъ въ культурѣ, наклоненной подъ угломъ 45° ниже горизонта, изъ 12-ти проростковъ пять еще оставались прямыми, остальные же образовали очень слабые изгибы; въ культурѣ, наклоненной внизъ подъ угломъ $22\frac{1}{2}$°, изгибовъ еще и совсѣмъ не было; однако еще черезъ два дня во всѣхъ культурахъ концы стеблей оказались направленными почти совершенно горизонтально.

Эти данныя относятся къ опытамъ надъ измѣненіемъ геотропическихъ свойствъ въ моментъ дѣйствія этилена; то же самое наблюдалось также относительно проростковъ, долгое время находившихся въ горизонтальномъ положеніи въ воздухѣ съ примѣсью этилена и затѣмъ направленныхъ подъ разными углами выше и ниже горизонта, а именно, въ опытѣ 93-мъ, въ одной и той же культурѣ, концы стеблей, направленныхъ вверхъ, на другой же день начали гнуться и еще черезъ день достигли горизонтальнаго положенія, между тѣмъ какъ направленные внизъ изогнулись въ теченіе этого времени только на 45° и только еще два дня спустя образовали новые изгибы, которые привели ихъ въ горизонтальное направленіе; въ опытѣ 117-мъ концы стеблей, направленныхъ вверхъ вертикально и подъ разными углами, на другой день приняли горизонтальное положеніе, направленные же отвѣсно внизъ еще не достигли его, но все таки образовали изгибы болѣе, чѣмъ въ 45°, между тѣмъ какъ наклоненные на 45° ниже горизонта почти совсѣмъ не изогнулись въ вертикальной плоскости.

* * *

На основаніи разсмотрѣнныхъ въ этой главѣ опытовъ можно заключить, что поле геотропической раздражительности стеблей, растущихъ горизонтально въ воздухѣ съ примѣсью этилена, имѣетъ приблизительно ту же форму, какъ и у горизонтальныхъ побѣговъ, которые въ естественныхъ условіяхъ обнаруживаютъ трансверсальный геотропизмъ, т. е. приблизительно соотвѣтствуетъ схемѣ, изображенной на рис. 2 (стр. 37).

Гл. III. Послѣдѣйствіе геотропической индукціи въ воздухѣ съ примѣсью этилена.

Измѣненіе геотропическихъ свойствъ подъ вліяніемъ этилена могло бы проявиться, кромѣ разсмотрѣнныхъ выше случаевъ, также и въ явленіяхъ послѣдѣйствія. Если проростки въ воздухѣ съ примѣсью этилена становятся трансверсально геотропичными, то, въ теченіе извѣстнаго срока подвергнутые въ наклонномъ положеніи дѣйствію силы тяжести и затѣмъ освобожденные отъ него, они должны были бы давать изгибы въ ту сторону, куда раньше были наклонены. Но необходимость вести опыты въ присутствіи этилена, который помимо специфическаго дѣйствія оказываетъ также весьма сильное вредное вліяніе, является настолько неблагопріятнымъ условіемъ, что едва ли можно надѣяться получить достаточно опредѣленные результаты, хотя бы только для рѣшенія вопроса о самомъ существованіи послѣдѣйствія въ воздухѣ съ примѣсью этилена. Въ геотропическомъ процессѣ вредное дѣйствіе этилена выражается не только въ томъ, что изгибы образуются гораздо медленнѣе, чѣмъ при нормальныхъ условіяхъ, но также и въ увеличеніи времени реакціи (скрытаго періода раздраженія). Поэтому становится вѣроятнымъ, что и время индукціи должно быть сильно увеличено, чтобы послѣдѣйствіе могло обнаружиться. Возможно даже, что и послѣ того, какъ реакція уже началась, одностороннее дѣйствіе силы тяжести не можетъ быть прервано безъ того, чтобы образованіе изгиба не остановилось. Въ виду этихъ соображеній я считалъ безполезнымъ пытаться опредѣлить величину «времени презентаціи», т. е. того наименьшаго промежутка времени, въ теченіе котораго единичное раздраженіе должно дѣйствовать, чтобы послѣ прекращенія его реакція могла обнаружиться [1]).

1. Литературныя данныя о послѣдѣйствіи при неблагопріятныхъ условіяхъ.

При нормальныхъ условіяхъ время презентаціи относительно невелико. Такъ, напр., Czapek [2]) опредѣлилъ слѣдующія величины его:

15 мин. для спорангіеносцевъ Phycomyces nitens,
» » для этіолированнаго сѣмядольнаго влагалища (Koleoptile) Avena sativa и Phalaris canariensis,
» » для подсѣмядольнаго колѣна Beta vulgaris;
20 мин. для корней Zea Mais, Pisum sativum, Lupinus albus, Cucurbita Pepo,
» » для подсѣмядольнаго колѣна Helianthus annuus;
50 мин. для корней Vicia Faba и подсѣмядольнаго колѣна Phaseolus multiflorus.

---

1) Этотъ терминъ былъ введенъ Czapek'омъ; въ физіологіи животныхъ онъ употреблялся и ранѣе. (Czapek, Fr. Weitere Beitr. zur Kenntniss d. geotr. Reizbewegungen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 32, p. 181. 1898).

2) Czapek, Fr. Weitere Beiträge z. Kenntniss. d. geotr. Reizbeweg. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 32, p. 184, 185. 1898.

По Haberlandt'у[1]) оно равняется:

25 мин. для оси соцвѣтія Capsella Bursa pastoris, Rumex acetosa и цвѣтоножки Ranunculus acer,
30 мин. для соцвѣтія Taraxacum officinale и среднихъ узловъ стебля Tradescantia virginica,
15 мин. для соцвѣтія Plantago lanceolata; только сочлененія стебля Poa pratensis почему то составляли исключеніе: для нихъ оно равнялось 4 часамъ.

По опредѣленіямъ другихъ авторовъ оно вообще значительно меньше. Fitting[2]) нашелъ, что оно колеблется отъ 5 до 7 мин. для проростковъ Vicia Faba, Phaseolus multiflorus и Helianthus annuus; но для проростковъ Sinapis arvensis, S. alba и Lens оно гораздо больше, а именно равняется 20—25 мин. Bach[3]) указываетъ слѣдующія величины времени презентаціи:

2 мин. для цвѣтущихъ побѣговъ Capsella;
3 мин. для оси соцвѣтія Sisymbrium officinale, Plantago lanceolata и P. media и для подсѣмядольнаго колѣна Helianthus annuus;
4 мин. для надсѣмядольнаго колѣна Phaseolus multiflorus;
5 мин. для надсѣмядольнаго колѣна Vicia Faba equina;
6 мин. для надсѣмядольнаго колѣна Cucurbita Pepo и корней Vicia Faba;
6—7 мин. для корней Phaseolus multiflorus;
8—9 мин. для надсѣмядольнаго колѣна Tropaeolum;
10 мин. для сѣмядольнаго влагалища (Koleoptile) Panicum sanguinale;
12 мин. для » » » Setaria alopecuroides;
20—25 мин. для подсѣмядольнаго колѣна Lupinus albus.

Вообще, слѣдовательно, достаточно непродолжительнаго раздраженія, чтобы послѣ прекращенія его черезъ извѣстный срокъ наступила реакція. Но промежутокъ времени отъ начала раздраженія до начала реакціи, называемый скрытымъ періодомъ раздраженія или временемъ реакціи, въ нѣсколько разъ превышаетъ время презентаціи. По Czapek'у (l. c., p. 187) при продолжительномъ раздраженіи (35—60 мин.) оно равняется приблизительно $1\frac{1}{2}$ часамъ, т. е. въ $4\frac{1}{2}$ раза больше времени презентаціи. Fitting (l. c., p. 348—350 и 353—355) нашелъ, что оно составляетъ:

отъ 55 мин. до 2 ч. для надсѣмядольнаго колѣна Vicia Faba;
» 1 ч. 10 мин. » 1 ч. 40 м. для подсѣмядольнаго колѣна Helianthus annuus;
» 1 ч. — — » 1 ч. 40 м. для надсѣмядольнаго колѣна Phaseolus multiflorus.

1) Haberlandt, G. Zur Statolithentheorie des Geotropismus. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 38, p. 488, 493. 1903.
2) Fitting, H. Untersuch. über d. geotr. Reizvorgang. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 41, p. 363. 1905.
3) Bach, H. Ueber die Abhängigkeit d. geotr. Präsentations- und Reaktionszeit von verschiedenen Aussenbedingungen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 44, p. 63. 1907.

Bach (l. c., p. 70, 77—79) указалъ однако, что время реакціи сильно измѣняется съ перемѣной температуры: оно уменьшается постепенно отъ 122.8 мин. до 48.2 мин. по мѣрѣ повышенія температуры отъ 14° до 30°, но при 35° вновь увеличивается до 80.8 мин. (для надсѣмядольнаго колѣна Vicia Faba). Вообще же онъ даетъ меньшія величины, чѣмъ предыдущіе изслѣдователи. По его опытамъ время реакціи равняется:

37.9—49.4 мин. для проростковъ Phaseolus multiflorus, при 21°—32°;
49.1—78.3 мин. для проростковъ Vicia Faba equina;
61.6—72.3 мин. для корней Vicia Faba equina;
71.9—76 мин. для корней Phaseolus multiflorus;
40.5—45 мин. для отрѣзанныхъ (цвѣтущихъ) побѣговъ Plantago media;
34.5—41.3 мин. для цвѣтущихъ стеблей Sisymbrium officinale;
37.5—41.6 мин. для » » Capsella bursa pastoris;
(въ пяти послѣднихъ случаяхъ при комнатной температурѣ).

Разногласіе въ приведенныхъ цифровыхъ данныхъ разныхъ авторовъ, вѣроятно, можетъ быть отчасти объяснено тѣмъ, что въ опытахъ степень чистоты окружающаго воздуха была не одинакова, на что не было обращено вниманія. Но относительно скорости наступленія реакціи, кромѣ разсмотрѣнныхъ, имѣется еще нѣсколько указаній, находящихся въ полномъ противорѣчіи съ ними: нѣкоторые авторы утверждають, что образованіе изгиба начинается тотчасъ же, какъ только данный органъ выводится изъ положенія покоя, т. е. что періода скрытаго раздраженія, а, слѣдовательно, и времени презентаціи вовсе не существуетъ.

Такъ Moisescu[1]), опредѣляя начало реакціи при помощи горизонтальнаго микроскопа, замѣтилъ, что кончикъ корня, приведеннаго въ горизонтальное положеніе, начинаетъ опускаться почти тотчасъ же (въ теченіе первой же минуты), тогда какъ невооруженнымъ глазомъ изгибъ наблюдался только черезъ 15—20 минутъ. Въ теченіе одной минуты корни опускались (въ среднемъ) на 0.07—0.16 мм. При этомъ оказалось, что скорость реакціи[2]) неодинакова для различныхъ растеній: корни тыквы чувствительнѣе корней лупина, которые въ свою очередь превосходятъ чувствительностью корни кукурузы.

Въ дѣйствительности однако результаты, полученные Moisescu, не могутъ служить доказательствомъ того вывода, который онъ дѣлаетъ, въ виду того, что имъ не было принято мѣръ, чтобы устранить непосредственное, механическое дѣйствіе силы тяжести или чтобы отличить его отъ геотропической реакціи, на что впослѣдствіи указала Половцова[3]).

1) Moisescu, N. Kleine Mitteilung über die Anwendung d. horizontalen Mikroscopes zur Bestimmung d. Reaktionszeit. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges., Bd. 23, p. 364. 1905.

2) Авторъ говоритъ здѣсь о времени реакціи, но цифры, приводимыя имъ, относятся не къ времени, а къ скорости реакціи.

3) Polowzow, Warwara. Unters. über Reizerscheinungen bei d. Pflanzen. Jena. 1909, p. 134 ff.

Но въ то же время произведенные ею весьма тщательные опыты показали, что и отрицательно геотропичные органы (матеріаломъ служили проростки подсолнечника и ржи) подъ вліяніемъ геотропическаго раздраженія начинаютъ изгибаться очень скоро. Проростки послѣ кратковременной индукціи приводились въ вертикальное положеніе. Такимъ образомъ, слѣдовательно, наблюдалось послѣдѣйствіе геотропическаго раздраженія. Оказывается, что достаточно продержать стебель въ горизонтальномъ положеніи всего 2 минуты, чтобы вслѣдъ затѣмъ онъ тотчасъ же началъ изгибаться.

Эти опыты, повидимому, могли бы допустить одно возраженіе, а именно, что во время индукціи стебли сгибались внизъ по своей тяжести и потомъ изгибъ этотъ выравнивался. Но такъ какъ совершенно однозначные результаты были получены въ опытахъ со стеблями подсолнечника, у которыхъ не было допущено отвисанія во время индукціи, а также и съ молодыми проростками злаковъ, которые въ горизонтальномъ положеніи остаются совершенно прямыми или обнаруживаютъ лишь ничтожный изгибъ книзу, то и это возраженіе отпадаетъ. Начинается ли реакція еще въ то время, когда стебель находится въ горизонтальномъ положеніи, — опредѣлено не было.

Maillefer[1]) также утверждаетъ, что раздраженіе непосредственно сопровождается реакціей. Это положеніе возводится даже въ «законъ» геотропизма[2]), и потому авторъ въ самой рѣшительной формѣ отрицаетъ существованіе времени реакціи: «Pour nous le *temps de réaction* est une notion qu'il faut abandonner complètement» (l. c., t. 46, p. 254).

Однако непосредственные результаты опытовъ (весьма многочисленныхъ) не даютъ автору права для такого вывода уже потому, что перемѣщеніе кончика стебля въ первый разъ отмѣчалось не ранѣе, чѣмъ черезъ пять минутъ отъ начала индукціи. Далѣе, если объектъ остается въ продолженіе всего опыта въ горизонтальномъ направленіи, то вначалѣ кончикъ опускается, и это движеніе происходитъ въ теченіе долгаго времени (20—25 минутъ). Аналогичные результаты были получены также и въ нѣкоторыхъ опытахъ съ послѣдѣйствіемъ. Несомнѣнно, геотропическая реакція начиналась еще во время опусканія стебля, но этотъ моментъ по даннымъ Maillefer не можетъ быть установленъ.

Быть можетъ въ будущемъ примѣненіе болѣе совершенныхъ методовъ изслѣдованія

---

1) Maillefer, A. Étude sur la réaction géotropique. Bull. de la Soc. Vaudoise des Sc. Nat. Lausanne. 1910. 5 sér. T. 46, p. 235—254, 415—432.

Idem. Nouvelle étude expér. sur le géotropisme et essai d'une théorie mathématique de ce phénomène. Ibidem. T. 48, p. 411—537. 1912.

2) «La sixième loi développée, que j'appelerai par la suite la loi fondamentale du géotropisme, non parce que je crois avoir atteint le fond des choses, mais simplement parce que les autres lois peuvent s'en déduire simplement, a la teneur suivante: Lorsqu'on soumet une plante orthogéotropique à l'action d'une force (force centrifuge ou gravité), elle commence immédiatement à se courber avec une certaine vitesse v due à une accélération de courbure b proportionelle à la force qui agit sur la plante et au sinus de l'angle que fait l'axe de plante avec la direction de la force. La vitesse de coubure v est proportionelle au temps écoulé depuis le début de l'action géotropique. Si l'action de la force cesse à un moment donné, la courbure continue à s'accentuer en vertu de la vitesse de courbure acquise. La courbure géotropique est contrariée par une action antagoniste, l'autotropisme qui tend constamment à ramener la plante dans sa position primitive; cette action peut être representée par une accélération $\beta < b$. Après que la force aura cessé d'agir la plante continuera à se courber mais avec une vitesse de plus en plus faible; la courbure atteindra un maximum puis diminuera de nouveau». Bull. Soc. Vaud. T. 48, p. 522.

и доставитъ убѣдительныя доказательства воззрѣній Maillefer, но такъ какъ въ данномъ случаѣ, какъ и вообще въ области явленій тропизмовъ, количественныя опредѣленія по необходимости настолько неточны, что сами по себѣ, помимо качественнаго изученія, едва ли могутъ послужить основаніемъ для рѣшительныхъ утвержденій, то представленія о времени презентаціи и времени реакціи еще на долгое время останутся необходимыми при обсужденіи данныхъ опыта.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда имѣется въ виду только установить существованіе послѣдѣйствія, т. е. если требуется получить достаточно замѣтные изгибы, которые не вызывали бы сомнѣній, продолжительность раздраженія можетъ быть увеличена далеко за предѣлы времени презентаціи, что обыкновенно и дѣлалось при наблюденіяхъ надъ явленіями послѣдѣйствія. Это относится къ нормальнымъ условіямъ. Если вредное дѣйствіе этилена выражается болѣе или менѣе пропорціональнымъ замедленіемъ всѣхъ процессовъ, слѣдствіемъ которыхъ является геотропическая реакція, то есть нѣкоторая вѣроятность, что при благопріятныхъ обстоятельствахъ послѣдѣйствіе можетъ быть обнаружено. Однако только на основаніи того, что реакція замедляется, еще нельзя сдѣлать никакого заключенія относительно величины предѣльно малаго времени раздраженія, необходимаго, чтобы вызвать образованіе изгиба, потому что зависимость между временемъ реакціи и продолжительностью раздраженія не выяснена. Fitting[1]) пытался установить эту зависимость для минимальнаго времени раздраженія, сопровождающагося видимой реакціей. При перемежающемся раздраженіи, въ томъ случаѣ, если продолжительность паузъ между послѣдовательными періодами раздраженія превосходитъ извѣстный предѣлъ, реакція не наступаетъ. Отсюда слѣдуетъ, что процессы, возникающіе вслѣдствіе каждаго отдѣльнаго періода раздраженія, которые могли бы привести къ образованію изгиба, въ данномъ случаѣ настолько затихаютъ въ теченіе послѣдующаго періода покоя, что уже не могутъ суммироваться и дать видимую реакцію. Предѣльную величину періода покоя по отношенію къ продолжительности періода раздраженія, при которой реакція уже не наступаетъ, Fitting называетъ «временемъ разслабленія» (Relaxationszeit). При посредствѣ этой величины онъ и находитъ возможнымъ путемъ теоретическихъ соображеній установить нѣкоторое соотношеніе между временемъ реакціи и временемъ презентаціи.

Если бы подъ «релаксаціей» можно было подразумѣвать возвращеніе чувствительнаго аппарата къ исходному состоянію изъ состоянія возбужденія и если бы дѣйствительно удалось установить опредѣленное отношеніе между скоростью этого процесса, продолжительностью скрытаго періода раздраженія и временемъ презентаціи, то это могло бы содѣйствовать разъясненію явленій геотропизма, но такъ какъ относительно состоянія геотропическаго возбужденія не имѣется никакихъ свѣдѣній и о немъ судятъ только по реакціи, то соображенія Fitting'а о релаксаціи и оказываются пріуроченными къ процессамъ реакціи же. Онъ, видимо, и самъ сознаетъ это, однако въ опредѣленіи понятія «время

---

1) Fitting, H. Untersuch. über d. geotrop. Reizvorgang. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 41, p. 362. 1905.

релаксаціи» не говоритъ просто о процессахъ реакціи, но находитъ нужнымъ прибѣгнуть къ совершенно неопредѣленному выраженію «процессы, ведущіе къ реакціи»: «Ist sonach vor der Hand eine Einsicht in das Abklingen der geotropischen Erregungen durchaus unmöglich, so wird doch vielleicht eine solche dadurch gefördert werden können, dass man die Zeitdauer ermittelt, die nötig ist, bis die durch eine Reiznng von kürzerer Dauer als die Präsentationszeit ausgelösten und *auf die Reaktion hinzielenden Vorgänge* (курсивъ мой) nach Beseitigung des Reizanlasses gerage so weit ausklingen, dass bei intermittierender Wiederholung gleicher Reizungen eine geotropische Krümmung nicht mehr eintritt. Ich will deise Zeit als die Relaxationszeit der Reizung bezeichnen» (l. c., p. 334).

Въ другомъ мѣстѣ Fitting шире опредѣляетъ время релаксаціи, относя его также и къ болѣе продолжительнымъ единичнымъ раздраженіямъ, сопровождающимся реакціей (l. c., p. 341). Въ этомъ случаѣ время релаксаціи есть то же самое, что Czapek раньше назвалъ «Impressionszeit», т. е. такой промежутокъ времени, въ теченіе котораго, послѣ прекращенія дѣйствія раздражителя, реакція все еще можетъ произойти, если она почему-нибудь не наступила своевременно (напр., вслѣдствіе того, что изгибу было оказано механическое препятствіе) [1]). Такимъ образомъ разсужденіе Fitting'а обобщается. Такъ какъ въ исходномъ опредѣленіи его «время релаксаціи» обозначаетъ отношеніе періодовъ покоя къ періодамъ раздраженія, то оно въ сущности не представляетъ собою промежутка времени, а является лишь отвлеченной величиной, какъ указалъ Зѣлинскій, которую было бы вѣрнѣе, по его предложенію, назвать «индексомъ релаксаціи» [2]).

Fitting свое представленіе о зависимости между временемъ презентаціи, продолжительностью періода скрытаго раздраженія и временемъ релаксаціи формулируетъ такимъ образомъ: «... so ist die Präsentationszeit wohl am besten zu bestimmen als die Zeit, während deren ein Reizanlass wirksam sein muss, damit die ausgelösten reaktiven Vorgänge nicht einnerhalb der Reaktionszeit für die Krümmung wieder so weit ausklingen, dass eine sichtbare Krümmung unterbleibt» (l. c., p. 368). Эту же мысль онъ выражаетъ посредствомъ слѣдующаго неравенства:

$$\text{время презентаціи} > \frac{y}{x+1}$$

гдѣ $y =$ времени реакціи, а $\frac{x}{1} =$ отношенію времени релаксаціи къ продолжительности раздраженія, т. е. индексу релаксаціи; а такъ какъ $\frac{x}{1} = x$, то x и есть индексъ релаксаціи. Дѣйствительное значеніе этого неравенства можетъ быть выяснено слѣдующимъ образомъ. Помножимъ обѣ части неравенства на $x+1$; получится: время презентаціи + оно же, помноженное на x, $>$ времени реакціи. Такъ какъ x есть отношеніе времени, въ теченіе котораго вообще только и можетъ произойти реакція, къ продолжительности вызывающаго ее раздра-

1) Czapek, Fr. Weitere Beitr. z. Kenntniss d. geotr. Reizbewegungen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 32, p. 182. 1898.

2) Zielinski, F. Ueber die gegenseitige Abhängigkeit geotropischer Reizmomente. Ztschr. f. Bot. Bd. 3, p. 91. 1911.

женія, то время презентаціи, помноженное на x, есть не что иное, какъ тотъ срокъ, въ теченіе котораго въ данномъ случаѣ сохраняется слѣдъ воспринятаго раздраженія и по прошествіи котораго реакція на данное раздраженіе уже вообще не можетъ наступить. Поэтому если передать общепонятнымъ языкомъ послѣднее неравенство, то мы получимъ слѣдующее: продолжительность раздраженія, способнаго вызвать реакцію, въ суммѣ съ тѣмъ промежуткомъ времени, по истеченіи котораго реакція на данное раздраженіе уже болѣе не наступаетъ, должна превышать то время, которое проходитъ отъ начала раздраженія до начала реакціи. Едва ли такое положеніе что-нибудь даетъ для уясненія геотропическаго процесса. На соображеніяхъ Fitting'а я останавливался только потому, что они представляютъ единственную попытку въ этомъ направленіи. Такимъ образомъ опредѣленной зависимости между величинами временъ презентаціи, релаксаціи и реакціи не установлено. Поэтому, какъ выше было указано, вообще по увеличенію времени реакціи еще нельзя заключить, что должна увеличиться и продолжительность раздраженія, чтобы реакція могла наступить. Но дѣло обстоитъ иначе въ томъ случаѣ, когда время реакціи увеличивается подъ вліяніемъ общихъ неблагопріятныхъ условій.

Если образованіе изгиба послѣ продолжительной индукціи задерживается механическимъ препятствіемъ, то воспринятое раздраженіе (или, вѣрнѣе, вызванные имъ процессы) сохраняется въ скрытомъ состояніи и въ теченіе извѣстнаго срока (Impressionszeit Czapek'а) въ любое время можетъ дать видимую реакцію, какъ только препятствіе къ изгибу будетъ устранено. Какъ великъ этотъ срокъ, — зависитъ прежде всего отъ свойствъ даннаго объекта и отъ продолжительности раздраженія. Слѣдовательно, если имѣется въ виду получить реакцію, задержавъ ее предварительно на извѣстный промежутокъ времени, то продолжительность индукціи должна быть больше разности между этимъ временемъ и срокомъ, въ теченіе котораго сохраняется слѣдъ воспринятаго раздраженія. Можно предположить, что и въ томъ случаѣ, когда реакція задерживается вслѣдствіе неблагопріятныхъ условій, вызывающихъ временное прекращеніе роста или замедленіе его, ихъ вліяніе по существу играетъ роль механическаго препятствія, т. е., слѣдовательно, и при этихъ обстоятельствахъ раздраженіе должно быть тѣмъ продолжительнѣе, чѣмъ медленнѣе наступаетъ реакція. Второй факторъ, опредѣляющій продолжительность индукціи для полученія послѣдѣйствія, — способность растенія сохранять въ теченіе опредѣленнаго времени слѣдъ воспринятаго раздраженія, — также измѣняется въ зависимости отъ внѣшнихъ воздѣйствій. При нормальныхъ условіяхъ продолжительность промежутка времени, въ теченіе котораго задержанная реакція все еще можетъ обнаружиться, — довольно велика. Такъ, Czapek[1]) нашелъ, что вліяніе 5-часовой индукціи еще можетъ быть обнаружено болѣе, чѣмъ черезъ 24 часа, но уже въ теченіе 48 часовъ оно изглаживается. Czapek примѣнялъ раздраженіе настолько продолжительное, что ему приходилось заключать свои объекты въ стеклянныя трубочки еще до индукціи, чтобы воспрепятствовать во время ея образованію изгибовъ.

1) Czapek, Fr. Untersuchungen über Geotropismus. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 27, p. 272. 1895.

Такимъ путемъ онъ могъ достигнуть того, что слѣдъ воспринятаго раздраженія сохранялся очень долго.

Кромѣ Czapek'а, этимъ вопросомъ занимались Fitting и Ohno. Fitting (l. c., p. 339), какъ было упомянуто, имѣлъ въ виду установить только *относительную* продолжительность времени, въ теченіе котораго процессы, вызванные раздраженіемъ, настолько ослабѣваютъ, что уже не могутъ сложиться въ видимую реакцію. Для этой цѣли онъ опредѣлялъ, при какомъ отношеніи величины періода индукціи къ величинѣ послѣдующей паузы въ перемежающемся раздраженіи реакція болѣе не наступаетъ. Оказалось, что, если это отношеніе равно 1:11, то реакція замедляется, если же продолжительность періодовъ покоя въ 16 разъ превышаетъ время раздраженія, то реакція болѣе не обнаруживается. Объектами опытовъ служили проростки Vicia Faba, Phaseolus multiflorus и Helianthus annuus.

Найденное Fitting'омъ отношеніе времени релаксаціи къ продолжительности раздраженія не соотвѣтствуетъ тому, которое можетъ быть разсчитано по даннымъ Czapek'а для непрерывной индукціи, но значительно превышаетъ его. Вѣроятно, надо признать, что мы здѣсь имѣемъ дѣло съ различными процессами, хотя Fitting и отождествляетъ ихъ.

Болѣе близкія величины къ даннымъ Czapek'а получилъ Ohno[1]). Въ его опытахъ продолжительность раздраженія была гораздо меньше, чѣмъ у Czapek'а, поэтому и воспринятое раздраженіе сохранялось въ теченіе болѣе короткаго промежутка времени: не долѣе 7—8 часовъ. Ohno нашелъ, что если:

раздраженіе продолжается въ теченіе:	то задержанная реакція еще можетъ наступить спустя:
10—12 мин. (время презентаціи)	около 1 часа
25—30 мин.	около 4 часовъ
50—60 мин. (время реакціи),—	около 5—7 часовъ.[2])

По цифрамъ Ohno, слѣдовательно, отношеніе продолжительности индукціи къ времени, въ теченіе котораго сохраняется слѣдъ воспринятаго раздраженія, колеблется отъ 1 : 6 до 1 : 9.

При неблагопріятныхъ условіяхъ вліяніе предварительной индукціи ослабѣваетъ гораздо скорѣе. По опытамъ Wortmann'а[3]) реакція уже болѣе не наступаетъ, если проростки, подвергавшіеся геотропическому раздраженію до начала образованія изгиба, помѣстить только на 1—1½ часа подъ колоколъ воздушнаго насоса. До истеченія этого срока проростки еще продолжаютъ изгибаться въ отсутствіи воздуха (хотя настолько слабо, что это можно замѣтить только при помощи катетометра) и послѣдѣйствіе еще можетъ обнаружиться при возстановленіи нормальныхъ условій. Въ другомъ случаѣ Wort-

1) Ohno, N. Ueber d. Abklingen von geotrop. und heliotrop. Reizvorgängen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 45, p. 631—634. 1908.

2) Объектъ—корни Lupinus albus; реакція задерживалась механическимъ препятствіемъ: корни были зажаты между 2 покровными стеклышками или загипсованы.

3) Wortmann, J. Studien über geotrop. Nachwirkungserscheinungen. B. Ztg. Bd. 42, p. 705. 1884. Объектами служили проростки Phaseolus multiflorus, Helianthus annuus и Lepidium sativum.

mann наблюдалъ еще болѣе быстрое прекращеніе послѣдѣйствія геотропической индукціи подъ вліяніемъ неблагопріятныхъ условій. Чтобы опредѣлить, какъ скоро уничтожается вліяніе воспринятаго раздраженія въ средѣ, совершенно лишенной кислорода, онъ помѣщалъ проростки, предварительно подвергнутые одностороннему дѣйствію силы тяжести, въ небольшой пріемникъ, который попеременно эвакуировался и наполнялся водородомъ. Послѣ того какъ эвакуація была произведена въ послѣдній разъ, медленнымъ токомъ пропускался водородъ подъ малымъ давленіемъ. Десятиминутнаго пребыванія въ водородѣ при этихъ условіяхъ оказалось достаточно, чтобы предварительная индукція уже не сопровождалась послѣдѣйствіемъ при замѣнѣ водорода воздухомъ. Почему въ данномъ случаѣ проростки такъ скоро утрачивали способность давать изгибы послѣдѣйствія, — трудно сказать. Быть можетъ, столь вредное дѣйствіе водорода зависѣло отъ вліянія паровъ соляной кислоты, которые могли въ немъ содержаться, такъ какъ водородъ добывался дѣйствіемъ ея на цинкъ (химически чистый); затѣмъ водородъ пропускался черезъ растворъ марганцовокислаго кали, но врядъ ли такимъ путемъ пары HCl были удалены нацѣло. Съ увѣренностью можно сказать одно, что не отсутствіе кислорода играло здѣсь роль, такъ какъ въ водѣ, изъ которой кислородъ былъ удаленъ кипяченіемъ, проростки давали изгибы послѣдѣйствія и при томъ очень быстро.

Какова бы ни была причина, важно то, что, повидимому, уже въ весьма короткое время слѣдъ воспринятаго раздраженія можетъ совершенно изгладиться. Однако въ дѣйствительности едва ли это было такъ. Гораздо вѣроятнѣе, что въ тѣхъ случаяхъ, когда послѣдѣйствіе не наблюдалось, это происходило только потому, что Wortmann слишкомъ рано прекращалъ опыты, такъ какъ при описаніи одного изъ нихъ онъ упоминаетъ, что послѣ замѣны водорода воздухомъ хотя ростъ и возобновился, но реакція не наступила въ теченіе $2\frac{1}{2}$ часовъ. Между тѣмъ Kraus[1]) ранѣе указалъ, что даже при постоянномъ, не прерывающемся раздраженіи время реакціи увеличивается весьма значительно, если растенія передъ тѣмъ находились въ средѣ, лишенной кислорода. То же впослѣдствіи наблюдалъ и Czapek[2]) относительно дѣйствія вредныхъ веществъ (хлороформа, CO_2, коффеина и др.). Указаніе Wortmann'a, что вслѣдствіе уже кратковременнаго пребыванія объекта въ атмосферѣ водорода вліяніе предварительной индукціи теряетъ силу, — не встрѣтило подтвержденія въ опытахъ Correns'a[3]), который нашелъ, что послѣ предварительной индукціи, продолжающейся до появленія слабаго изгиба, проростки подсолнечника, пробывшіе нѣсколько часовъ въ довольно сильномъ токѣ водорода, при замѣнѣ водорода воздухомъ продолжаютъ прерванное образованіе изгиба. Подсолнечникъ очень легко переноситъ отсутствіе кислорода. Но опытъ былъ повторенъ также и надъ проростками Lepidium и Sinapis, которые особенно чувствительны къ недостатку кислорода и не реагируютъ на гео-

1) Kraus, Gr. Ueber die Wasservertheilung in d. Pflanze. IV.—Abh. d. naturf. Ges. zu Halle. Bd. 16. H. 2, p. 200 ff. 1884. [Весь томъ 1886].

2) Czapek. Weitere Beiträge zur Kenntniss d. geotr. Reizbeweg. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 32, p. 199. 1898.

3) Correns. Ueber d. Abhängigkeit d. Reizkrümmungen höherer Pflanzen von d. Gegenwart freien Sauerstoffes. Flora. Bd. 75, p. 133. 1892.

тропическое раздраженіе при маломъ содержаніи его въ окружающей атмосферѣ. Однако и въ этомъ случаѣ послѣдѣйствіе, при 1—2-часовой индукціи, обнаруживалось, если проростки оставались въ водородѣ не болѣе 2 часовъ (l. c., p. 133—134).

Въ опытахъ Czapek'a[1]) гораздо болѣе долгое пребываніе въ условіяхъ, при которыхъ ростъ прекращался (низкая t°), не уничтожало вліянія воспринятаго раздраженія; впрочемъ, въ этихъ опытахъ предварительная индукція была болѣе продолжительна. Объектомъ служили корни лупина, которые приводились въ горизонтальное положеніе на 4 часа (при 20°). Этотъ срокъ превышаетъ время реакціи. Чтобы недопустить образованія изгиба, корни были заключены въ стеклянныя трубочки. Подвергнутые вліянію низкой температуры (+2°) и затѣмъ помѣщенные на клиностатъ, снова при комнатной температурѣ, они давали изгибы послѣдѣйствія, если охлажденіе продолжалось въ теченіе 6 часовъ, во послѣ 12-часового охлажденія реакція уже не наступала. Такимъ образомъ вліяніе низкой температуры сокращало приблизительно въ 2—3 раза тотъ срокъ, до истеченія котораго послѣдѣйствіе еще могло обнаружиться.

Подобный же результатъ получилъ Ohno. По даннымъ, имѣющимся въ его статьѣ, можно разсчитать, что продолжительность времени, въ теченіе котораго сохраняется слѣдъ воспринятаго раздраженія, въ томъ случаѣ, когда послѣ индукціи корни Lupinus albus и сѣмядольное влагалище овса подвергались охлажденію до +1°, была въ $2^1/_2$—3 раза меньше, чѣмъ при комнатной температурѣ, когда реакція временно задерживалась механическимъ препятствіемъ[2]). Онъ даетъ слѣдующія цифры:

Продолжительность индукціи:	Время, въ теченіе котораго послѣдѣйствіе могло быть обнаружено:				
8—10 мин.	болѣе	20 мин.	и менѣе	30 мин.	сѣмядольное влагалище овса;
25 мин.	»	1 час.	»	2 час.	
45—50 мин.	»	3 »	»	4 »	
10 мин.		—	»	1 »	корни Lupinus albus.
25—30 мин.	»	$2^1/_2$ час.	»	3 »	
45—50 мин.	около 3 часовъ				

Вліяніе неблагопріятныхъ условій не только вызываетъ увеличеніе времени реакціи и сокращеніе того срока, въ теченіе котораго можетъ проявиться послѣдѣйствіе, но отражается также и на процессахъ воспріятія раздраженія. Что касается вліянія безкислородной среды, то Kraus[3]) на основаніи опытовъ, произведенныхъ надъ большимъ количествомъ различныхъ объектовъ, пришелъ къ выводу, что въ ней геотропическая чувствительность временно утрачивается, но можетъ возстановиться съ возвращеніемъ нормальныхъ условій. Онъ, помѣщая свои объекты въ горизонтальномъ положеніи въ токъ углекислоты или во-

1) Czapek, Fr. Unters. über Geotropismus. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 27, p. 272. 1895.

2) Ohno, N. Ueber d. Abklingen von geotr. u. heliotr. Reizvorgängen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 45, p. 610—617. 1908.

3) Kraus, Gr. Ueber die Wasservertheilung in der Pflanze. IV.— Abh. d. naturforsch. Ges. zu Halle. Bd. 16. H. 2, p. 202. 1884.

дорода, не получалъ изгибовъ, иногда даже и по прошествіи 24 часовъ. Отрицательные результаты Kraus'а объясняются однако тѣмъ, что онъ слишкомъ рано прекращалъ свои опыты. Въ безкислородной средѣ ростъ вначалѣ совершенно останавливается и возобновляется очень медленно, иногда только черезъ сутки и болѣе, какъ это впослѣдствіи показалъ многочисленными опытами Набокихъ[1]). Wortmann[2]) полагалъ даже, что въ отсутствіи кислорода геотропическое раздраженіе совершенно не воспринимается, такъ какъ проростки, остававшіеся нѣсколько часовъ (stundenlang) въ горизонтальномъ положеніи въ атмосферѣ водорода, не давали изгибовъ послѣдѣйствія, если затѣмъ водородъ былъ замѣненъ воздухомъ, хотя ростъ и возобновлялся. То же самое происходило и въ томъ случаѣ, если проростки подвергались геотропическому раздраженію, находясь въ водѣ, изъ которой кипяченіемъ былъ удаленъ воздухъ: они также не давали изгибовъ, хотя бы по прошествіи нѣкотораго времени (необозначеннаго авторомъ) имъ былъ предоставленъ доступъ воздуха. Почему результатъ получился отрицательный, — трудно сказать, такъ какъ опыты описаны слишкомъ кратко. Можетъ быть потому, что индукція была недостаточно продолжительна, или же опыты были слишкомъ рано прекращены.

Correns'омъ (l. c., p. 134—135) были сдѣланы опыты надъ вліяніемъ хлороформа и углекислоты на воспріятіе геотропическаго раздраженія. Онъ примѣнялъ смѣшанную индукцію: проростки подсолнечника, приводившіеся въ горизонтальное положеніе и находившіеся въ немъ до начала образованія изгиба, подвергались вліянію хлороформа (т. е. помѣщались въ смѣсь 1 части насыщеннаго воднаго раствора хлороформа и 9 частей воды), но при этомъ попрежнему оставались въ горизонтальномъ положеніи. Если они находились въ растворѣ хлороформа болѣе получаса, то промытые и приведенные въ вертикальное положеніе, въ воздухѣ, они уже болѣе не давали изгибовъ, хотя ростъ и возобновлялся, т. е. слѣдовательно, за это время не было воспринято геотропическое раздраженіе, но также утратилось вліяніе и предварительной индукціи. Въ опытѣ съ углекислотой былъ полученъ недостаточно опредѣленный результатъ. Два проростка подсолнечника и одинъ проростокъ лупина, подвергнутые $1\frac{1}{2}$-часовой индукціи въ воздухѣ, были помѣщены на 2 часа въ токъ углекислоты, оставаясь въ горизонтальномъ положеніи. Когда послѣ этого они были направлены вертикально (въ воздухѣ), то черезъ 2 часа стебли подсолнечника изогнулись, стебель лупина остался прямымъ.

Correns (l. c., p. 131—132) производилъ опыты также и надъ вліяніемъ индукціи въ безкислородной средѣ, но въ описаніи ихъ даетъ такъ мало подробностей, что о значеніи

1) Набокихъ, А. Временный анаэробіозъ высшихъ растеній. СПБ. 1905, стр. 115 и слѣд. Также: Набокихъ, А. И. О возможности роста корней въ безкислородной средѣ. Журн. Оп. Агр. Т. I, стр. 660. 1900. Nabokich, A. Wie die Fähigkeit d. höheren Pflanzen zum anaëroben Wachsthum zu beweisen und zu demonstrieren ist. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 19, p 229. 1901.

Ср. Moeller, H. Ueber Pflanzenathmung. Ber. d. D.B.G.Bd. 2, p. 39. 1884. (Въ атмосферѣ N_2O геотропическій изгибъ былъ замѣченъ только черезъ 48 часовъ).

2) Wortmann, J. Studien über geotrop. Nachwirkungserscheinungen. Bot. Ztg. Bd. 42, p. 711. 1884. Ср. также: Wortmann. Ueber die Beziehungen der intramolecularen zur normal. Athmung d. Pflanzen. Arb. d. bot. Inst. zu Würzburg. Bd. 2, H. 3, p. 509. 1880, гдѣ упомянуто, что въ Торричеллієвой пустотѣ изгибы не происходятъ; продолжительность опытовъ не указана («Die Zeitdauer der Versuche war eine verschieden lange»).

ихъ результатовъ трудно судить. Онъ помѣщалъ проростки подсолнечника, Vicia Faba, Lepidium sativum и Sinapis alba въ стеклянные пріемники вмѣстимостью 120—250 cc., которые эвакуировались, затѣмъ наполнялись водородомъ (иногда это повторялось до 5 разъ) и приводились въ горизонтальное положеніе на 6—12 часовъ. Проростки были снабжены водою въ достаточномъ количествѣ: крупные проростки (Helianthus и Vicia Faba) закрѣплялись въ маленькихъ пробиркахъ съ водою посредствомъ ватной пробки, сѣмяна же Sinapis alba и Lepidium sativum высѣвались на мокрую фильтровальную бумагу на днѣ пріемниковъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ проростки, находясь въ водородѣ, въ горизонтальномъ положеніи, начинали изгибаться, что было замѣчено при помощи горизонтальнаго микроскопа. Такимъ образомъ и воспріятіе раздраженія, и реакція происходили въ безкислородной средѣ, но въ какіе сроки, — изъ приведенныхъ данныхъ нельзя видѣть. Этотъ положительный результатъ, повидимому, былъ полученъ во всѣхъ опытахъ надъ проростками подсолнечника.

Въ другихъ случаяхъ, когда въ безкислородной средѣ проростки не обнаруживали роста и не реагировали, — послѣдѣйствіе (въ воздухѣ) также не наступало (Sinapis alba реагировала только при давленіи 30—37,5 mm., т. е. при содержаніи кислорода въ 4—5% относительно первоначальнаго количества). Такъ какъ послѣдѣйствіе опредѣлялось по образованію изгибовъ при вертикальномъ положеніи, а не на клиностатѣ, и такъ какъ неизвѣстно, черезъ сколько времени прекращались опыты послѣ того, какъ проросткамъ вновь былъ предоставленъ доступъ воздуха, то нельзя рѣшить, оставалось ли въ этихъ случаяхъ совершенно безъ послѣдствій геотропическое раздраженіе, которому проростки подвергались въ безкислородной средѣ въ теченіе нѣсколькихъ часовъ. Несомнѣнно, однако, что если оно и вызывало какой-нибудь эффектъ, то несравненно меньшій, чѣмъ при нормальныхъ условіяхъ.

Если растенія подвергаются геотропической индукціи при очень низкой температурѣ, то для того, чтобы при возобновленіи нормальныхъ условій послѣдѣйствіе могло обнаружиться, раздраженіе должно продолжаться очень долго. Такъ Czapek[1]) нашелъ, что при температурѣ отъ +1° до +2°, когда ростъ прекращается, даже 12-часовая индукція (для корней лупина) недостаточна, чтобы затѣмъ при +19° на клиностатѣ обнаружилось послѣдѣйствіе, и только подвергавшіеся индукціи въ теченіе 24 часовъ корни давали затѣмъ изгибы, при такихъ же условіяхъ. Для подсѣмядольнаго колѣна подсолнечника предѣльная (наименьшая) продолжительность раздраженія, сопровождающагося реакціей, при этой температурѣ оказалась равной приблизительно 18 часамъ.

По мѣрѣ пониженія температуры въ тѣхъ предѣлахъ, когда ростъ не прекращается и поэтому индукція и образованіе изгиба могутъ происходить при одинаковыхъ условіяхъ, время презентаціи также значительно увеличивается. По Czapek'у[2]) температурамъ: 30°—15°, 10° и 5° соотвѣтствуетъ время презентаціи: 20 м., 30 м., 45 м. Bach[3]) ввелъ

---

1) Czapek, Fr. Untersuch. über Geotrop. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 27, p. 271—272. 1895.

2) Czapek, Fr. Weitere Beiträge z. Kenntniss d. geotrop. Reizbewegungen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 32, p. 196—197. 1898.

3) Bach, H. Ueber die Abhäng. d. geotrop. Präsentations- u. Reaktionszeit von verschiedenen Aussenbedingungen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 44, p. 69—71. 1907.

поправку къ даннымъ Czapek'a, указавъ, что и при пониженіи t° отъ 30° до 14° величина времени презентаціи не остается постоянной, но возрастаетъ: температурамъ 30°, 25°, 20°, 17° и 14° соотвѣтствуетъ время презентаціи (для корней Vicia Faba) 2 м., 3 м., 7½ м., 11 м., 14 м.

Въ противоположность указаніямъ Wortmann'a и Correns'a Czapek утвержаетъ, что геотропическое раздраженіе воспринимается и въ безкислородной средѣ, и притомъ несмотря на сильное пониженіе температуры (она колебалась отъ 0 до +2°). Пріемникъ, въ которомъ находились проросшія сѣмена, попеременно эвакуировался и наполнялся водородомъ 6—8 разъ и, наконецъ, эвакуированный былъ помѣщенъ въ горизонтальномъ положеніи въ холодильникъ. Черезъ 24 часа проростки были вынуты изъ холодильника и помѣщены на клиностатъ (при комнатной температурѣ), гдѣ спустя нѣкоторое время корни дали изгибы.

Относительно вліянія хлороформа Czapek[1]) также получилъ иные результаты, чѣмъ Correns. Примѣняя болѣе крѣпкій растворъ хлороформа (1 часть насыщеннаго раствора + 4 части воды), онъ нашелъ, что воспріятіе геотропическаго раздраженія происходитъ, но время презентаціи увеличивается на нѣсколько часовъ (объектомъ служили корни Vicia Faba и Lupinus albus). Увеличивается также и время реакціи. Высшая концентрація раствора хлолоформа устраняетъ способность къ реакціи, но воспріятіе раздраженія — только понижаетъ. Подобно хлороформу дѣйствуютъ также: CO_2 (безъ воздуха), коффеинъ, HCl (разбавленная въ 6000 разъ) и нѣкоторыя соли.

Положительные результаты полученные Czapek'омъ, показываютъ, что, если Correns въ аналогичныхъ условіяхъ не наблюдалъ образованія изгибовъ, то это происходило по какимъ-нибудь случайнымъ причинамъ, вѣроятнѣе всего потому, что, какъ и въ другихъ упомянутыхъ случаяхъ, опыты были закончены слишкомъ рано.

2. Описаніе опытовъ.

Итакъ, судя по имѣющимся въ литературѣ даннымъ, вліяніе весьма различныхъ неблагопріятныхъ условій въ геотропическомъ процессѣ выражается тѣмъ, что время реакціи и минимальная продолжительность раздраженія, сопровождающагося послѣдѣйствіемъ хотя бы уже при нормальныхъ условіяхъ, возрастаютъ, тогда какъ время, въ теченіе котораго сохраняется слѣдъ воспринятаго раздраженія, сильно уменьшается. Поэтому представляется весьма вѣроятнымъ, что вредное дѣйствіе этилена оказываетъ такое же вліяніе и что, слѣдовательно, въ воздухѣ съ примѣсью этилена геотропическое раздраженіе должно продолжаться въ теченіе очень большого промежутка времени, быть можетъ — до начала реакціи, чтобы послѣ его прекращенія образовался изгибъ послѣдѣйствія или, вѣрнѣе сказать, закончился уже ранѣе начавшійся. Если же это такъ, то образованіе изгибовъ послѣдѣйствія,

1) Czapek, Fr. Weitere Beiträge zur Kenntniss d. geotr. Reizbewegungen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 32, p. 199. 1898.

какъ доказательство измѣненія геотропическихъ свойствъ, очень мало можетъ прибавить къ результатамъ описанныхъ выше опытовъ, которыми было установлено, что изгибы направляются въ ту сторону, куда проростки были наклонены, такъ какъ и здѣсь во время индукціи проростки должны приводиться въ наклонное положеніе, чтобы по направленію изогнувшихся концовъ стеблей можно было отличить индуцированные изгибы отъ нутаціонныхъ. Если же ихъ пришлось бы оставить въ такомъ положеніи до появленія изгибовъ, то условія были бы очень близки, почти тожественны по существу съ тѣми, которыя имѣлись въ упомянутыхъ опытахъ.

Примѣняя наиболѣе слабыя дозы этилена, быть можетъ, и удалось бы нѣсколько сократить продолжительность индукціи, но все-таки она должна остаться близкой по величинѣ къ времени реакціи, а вмѣстѣ съ тѣмъ явился бы рискъ не получить однородныхъ результатовъ вслѣдствіе привыканія объектовъ къ малымъ количествамъ газа. Поэтому въ тѣхъ случаяхъ, когда растенія въ теченіе всего опыта находились въ воздухѣ съ примѣсью этилена, я примѣнялъ только такія дозы его, которыя навѣрное могли бы вызвать стремленіе къ горизонтальному росту, и при томъ не ставилъ себѣ задачей полученія изгибовъ послѣдѣйствія при возможно кратковременной индукціи.

Такъ какъ для трансверсально геотропичныхъ органовъ любое направленіе въ горизонтальной плоскости представляетъ собою положеніе покоя, то изгибы послѣдѣйствія у нихъ могутъ образоваться, не встрѣчая сопротивленія со стороны новой индукціи, не только когда они помѣщены на клиностатѣ (параллельно горизонтальной оси), но также и въ томъ случаѣ, если они остаются неподвижными въ горизонтальномъ положеніи и направлены такъ, чтобы индуцированный изгибъ могъ произойти въ горизонтальной же плоскости. Часть опытовъ и была сдѣлана такимъ образомъ (опыты **100**, **104**, **96b** и **97**). Проростки первоначально въ теченіе нѣсколькихъ дней развивались въ чистомъ воздухѣ (обыкновенно до тѣхъ поръ, пока второе междоузліе достигало велечины 1—2 см.). Затѣмъ въ колокола вводился этиленъ, и, спустя нѣкоторое время или одновременно, культуры приводились въ наклонное положеніе (около 20° съ линіей отвѣса). Проросткамъ заранѣе (при пересадкѣ) было придано такое направленіе, чтобы срединная плоскость совпадала съ вертикальной и чтобы загнутый верхній конецъ стебля былъ обращенъ въ одну и ту же сторону. Такимъ образомъ, когда культуры приводились въ наклонное положеніе, то всѣ стебли были обращены книзу одной и той же боковой стороной, обыкновенно — правой. По прошествіи опредѣленнаго времени культуры (какъ были, въ колоколахъ) приводились въ горизонтальное положеніе спинной стороной внизъ. Индуцированный изгибъ долженъ былъ образоваться на правую сторону, и поэтому направленіе его совпадало съ горизонтальной плоскостью. Такъ какъ проростки по прежнему оставались въ воздухѣ съ примѣсью этилена, то они, находясь въ горизонтальномъ положеніи, и не испытывали новаго геотропическаго раздраженія.

Какъ видно изъ прилагаемыхъ протоколовъ опытовъ, пребываніе въ вертикальномъ положеніи и въ близкомъ къ нему наклонномъ въ воздухѣ съ примѣсью этилена

въ теченіе $1/2$ часа, 1 ч., $1 1/2$ ч., 2 ч., $2 1/2$ ч., 5 ч. и даже 6 часовъ (для проростковъ гороха) недостаточно, чтобы послѣ прекращенія индукціи стебли, приведенные въ горизонтальное положеніе, дали изгибы. Только когда раздраженіе длилось 7 часовъ (причемъ у нѣкоторыхъ проростковъ реакція уже начиналась), — большинство стеблей (28 изъ числа 39) послѣ прекращенія индукціи образовали изгибы (въ горизонтальной плоскости) подъ угломъ приблизительно въ 20° на правую сторону, т. е. въ томъ направленіи, куда ранѣе были наклонены. Въ этомъ случаѣ продолжительность раздраженія была приблизительно равна времени реакціи. Возможно даже, что послѣ 7-часовой индукціи, когда проростки были приведены въ горизонтальное положеніе, всѣ стебли уже начали изгибаться, но самые слабые изгибы не были замѣчены только потому, что осматривать культуры приходилось при слабомъ оранжевомъ свѣтѣ фотографическаго фонаря.

Опытъ 100. Горохъ.

1/II. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Культуры помѣщаются въ 2-литровыхъ колоколахъ, черезъ которые ежедневно въ теченіе 2—3 часовъ пропускается уличный воздухъ. Температура за все время опыта 19°—22°.

3/II. Проростки пересажены по 10 шт. въ гипсовые сосуды. Всѣ стебли оріентированы одинаково.

7/II. Всѣ стебли растутъ прямо вверхъ. Второе междоузліе достигаетъ длины 1—$1 1/2$ см.

№№ культуръ.	Этиленъ введенъ:	Количества этилена:	Культуры наклонены на 20° на правую сторону:	Культуры приведены въ горизонтальное положеніе:
I	12 ч. 45 м.	1 сс. $1/2$% смѣси	12 ч. 55 м. (черезъ 10 м.)	3 ч. 15 м. (черезъ 2 ч. 20 м.)
II	1 ч.	»	2 ч. (черезъ 1 ч.)	3 ч. — (черезъ 1 ч.)
III	2 ч. 5 м.	»	2 ч. 15 м. (черезъ 10 м.)	3 ч. 35 м. (черезъ 1 ч. 20 м.)
IV	2 ч. 9 м.	»	2 ч. 19 м. (черезъ 10 м.)	3 ч. 9 м. (черезъ 50 м.)
V	2 ч. 11 м.	$1/2$ сс. $1/2$% смѣси	2 ч. 21 м. (черезъ 10 м.)	2 ч. 41 м. (черезъ 20 м.) (Проростки спинной стороной обращены книзу).

Въ 5 ч. ни у одного стебля изгибовъ не замѣтно.

8/II. *Опытъ оконченъ.* Изгибовъ на правую сторону нѣтъ.

Опытъ 104. Горохъ.

1/III. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Колокола съ культурами продуваются по 3 часа въ день уличнымъ воздухомъ. Температура за все время опыта 20°—21°.

6/III. Проростки пересажены и всѣ оріентированы одинаково.

8/III. Во всѣ 4 колокола введено по $1/2$ сс. $1/2$% смѣси этилена съ воздухомъ, и культуры наклонены; черезъ 5 часовъ всѣ приведены въ горизонтальное положеніе, такъ, чтобы проростки спинной стороной были обращены книзу.

9/III. Изгибовъ нѣтъ.

10/III. *Опытъ оконченъ.* Изъ 42 проростковъ только одинъ изогнулся на правую сторону. Очень немногіе дали слабые изгибы на спинную сторону.

Опытъ 96 b. Горохъ.

4/I. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Культура помѣщается подъ 2-литровымъ колоколомъ, черезъ который каждый день по 1 часу пропускается уличный воздухъ. Температура во все время опыта 19°—21°.

8/I. Проростки пересажены въ гипсовый сосудъ и оріентированы всѣ одинаково.

11/I. Въ колоколъ введено $2 \times \frac{1}{2}$ cc. $\frac{1}{2}$% смѣси этилена съ воздухомъ, и культура наклонена на правую сторону. Черезъ 6 часовъ колоколъ былъ приведенъ въ горизонтальное положеніе, такъ, чтобы проростки были обращены спинной стороной внизъ.

12/I. Изгибовъ нѣтъ.

13/I. *Опытъ оконченъ.* Изгибовъ нѣтъ. Ростъ очень слабый.

Опытъ 97. Горохъ.

20/I. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Колокола (2-литровые) соединены вмѣстѣ, продуваются 5 часовъ.

23/I. Проростки пересажены въ гипсовые сосуды (оріентированы всѣ одинаково). 4 культуры. Продуваются всѣ вмѣстѣ 5 часовъ.

24/I. Въ 7 ч. утра введено во всѣ колокола по $\frac{1}{2}$ cc. $\frac{1}{2}$% смѣси этилена съ воздухомъ, и культуры наклонены на правую сторону.

Въ 2 ч. дня колокола приведены въ горизонтальное положеніе такимъ образомъ, чтобы проростки были обращены книзу спинной стороной. У нѣкоторыхъ проростковъ къ этому времени уже обозначились слабые изгибы.

27/I. *Опытъ оконченъ.* Изъ 39 проростковъ 28 образовали изгибы (подъ угломъ около 20°) въ ту сторону, куда были наклонены при индукціи, 6 — изогнулись въ другихъ направленіяхъ, 5 — остались прямыми.

Подобный же опытъ былъ сдѣланъ и надъ проростками Tropaeolum majus. Проростки настурціи подъ вліяніемъ этилена реагируютъ гораздо скорѣе, чѣмъ проростки гороха: черезъ 3 часа изгибы стеблей (изъ вертикальнаго положенія) нерѣдко достигаютъ 90°. Поэтому время индукціи было значительно сокращено: въ одномъ случаѣ индукція продолжалась $\frac{1}{2}$ часа, въ другомъ — 1 часъ. Въ первыхъ двухъ культурахъ (опытъ 120), приведенныхъ въ горизонтальное положеніе послѣ $\frac{1}{2}$ часовой индукціи, изъ 24 проростковъ 13 не дали изгибовъ, 6 — изогнулись въ ту сторону, куда раньше были наклонены, 5 — въ противоположномъ направленіи. Изъ двухъ другихъ культуръ, остававшихся въ наклонномъ положеніи въ теченіе 1 часа, въ первой — всѣ проростки остались прямыми, во второй — 10 проростковъ изогнулись въ томъ направленіи, куда ранѣе были наклонены, два — не дали изгибовъ.

Опытъ 120. Tropaeolum majus.

7/II. Нестерилизованныя, размоченныя сѣмена посажены въ песокъ (стерилизованный). Культуры помѣщаются подъ 2-литровыми колоколами, черезъ которые уличный воздухъ пропускается непрерывно. Температура за все время опыта $17\frac{1}{2}$°—20°.

14/II. Проростки пересажены въ гипсовые сосуды (оріентированы всѣ одинаково).

15/II. Во всѣ 4 колокола введено по $\frac{1}{2}$ cc. $\frac{1}{2}$% смѣси этилена съ воздухомъ. Культуры наклонены на правую сторону.

Двѣ культуры приведены въ горизонтальное положеніе черезъ $\frac{1}{2}$ часа, другіе двѣ — черезъ 1 часъ; проростки обращены книзу спинной стороной.

16/II. *Опытъ оконченъ.* Въ двухъ культурахъ, подвергавшихся $\frac{1}{2}$ часовой индукціи, 13 проростковъ остались прямыми, 6 — изогнулись въ ту сторону, куда были наклонены, 5 — въ противоположномъ направленіи. Изъ двухъ другихъ культуръ, подвергавшихся 1-часовой индукціи, одна совершенно не дала изгибовъ, въ другой — 10 проростковъ изогнулись подъ угломъ около 30° въ ту сторону, куда были наклонены при индукціи, 2 — остались прямыми.

Результатъ получился неопредѣленный. У настурціи, слѣдовательно, также, какъ и у гороха, изгибы послѣдѣйствія не образуются, если продолжительность раздраженія меньше времени реакціи и если при этомъ проростки во все время опыта находятся въ воздухѣ съ примѣсью этилена. Такъ какъ время реакціи для проростковъ Tropaeolum, вѣроятно, не многимъ больше одного часа, то я не счелъ нужнымъ дѣлать опыты съ болѣе продолжительной индукціей, не разсчитывая получить иные результаты, чѣмъ въ опытахъ надъ проростками гороха.

Въ слѣдующемъ рядѣ опытовъ проростки подвергались вліянію этилена только во время индукціи. Послѣ этого культуры помѣщались на клиностатъ, внутри колокола, черезъ который непрерывно пропускался уличный воздухъ. Культуры укрѣплялись на горизонтальной оси клиностата такимъ образомъ, чтобы стебли были направлены параллельно ей. Опытовъ было сдѣлано пять, всѣ — надъ проростками гороха.

Какъ видно изъ протоколовъ, при этихъ условіяхъ удалось получить изгибы послѣдѣйствія не только въ томъ случаѣ, когда проростки подвергались одностороннему дѣйствію силы тяжести до начала образованія изгибовъ (т. е. въ теченіе 7 часовъ), какъ это было въ **опытѣ 98**, но также и подъ вліяніемъ индукціи, продолжительность которой была меньше времени реакціи, а именно въ **опытѣ 96а**, гдѣ стебли, находившіеся въ наклонномъ положеніи въ воздухѣ съ примѣсью этилена въ теченіе 6 часовъ, еще не начали изгибаться, помѣщенные же затѣмъ на клиностатъ (въ чистомъ воздухѣ), — всѣ дали изгибы въ ту сторону, куда были наклонены во время индукціи.

Опытъ 98. Горохъ.

20/I. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Черезъ колокола пропускается уличный воздухъ ежедневно по 5 часовъ.

23/I. Проростки пересажены по 10 шт. въ никкелевыя корзиночки, оріентированы всѣ одинаково. Корзиночки помѣщены подъ колоколами въ 3,75 литра.

24/I. Въ 7 ч. утра въ оба колокола введено по $1\frac{1}{2}$ cc. $\frac{1}{2}\%$ смѣси этилена съ воздухомъ, и культуры наклонены на правую сторону (около 20° съ отвѣсной линіей).
Въ 2 ч. (черезъ 7 ч. послѣ введенія этилена) одна культура помѣщена на клиностатъ въ горизонтальномъ положеніи (стебли направлены параллельно горизонтальной оси). Пущенъ непрерывный токъ уличнаго воздуха. Другая культура оставлена подъ колоколомъ въ воздухѣ съ примѣсью этилена. Къ этому времени у нѣкоторыхъ стеблей уже обозначились изгибы.

27/I. *Опытъ оконченъ.* На клиностатѣ всѣ 10 проростковъ имѣютъ изгибы подъ угломъ около 30° въ ту сторону куда были наклонены. У неподвижно стоявшихъ стеблей верхнія части послѣ изгиба приняли горизонтальное направленіе.

Опытъ 96а. Горохъ.

4/I. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Культуры помѣщены подъ колоколами вмѣстимостью около 4 литровъ, черезъ колокола ежедневно пропускается уличный воздухъ по 1 часу. Температура во время опыта 19°—21°.

6/I. Проростки пересажены въ 2 никкелевыя корзиночки, направлены такъ, чтобы медіана была параллельна радіусу корзиночки.

11/I. Въ оба колокола введено по 1 cc. $\frac{1}{2}\%$ смѣси этилена съ воздухомъ, и культуры наклонены подъ угломъ 20°. Черезъ 6 часовъ изгибовъ еще не было. Одна культура помѣщена на клиностатъ, стебли направлены параллельно горизонтальной оси, пущенъ непрерывный токъ уличнаго воздуха. Другая корзиночка приведена въ вертикальное положеніе.

12/I. На клиностатѣ всѣ стебли образовали изгибы подъ небольшими углами въ ту сторону, куда были наклонены при индукціи, неподвижно стоявшіе изогнулись до горизонтальнаго направленія.

13/I. *Опытъ оконченъ.* На клиностатѣ стебли значительно выросли, сохраняя направленіе, принятое послѣ изгиба. У неподвижно стоявшихъ проростковъ верхнія части стеблей послѣ изгиба растутъ горизонтально.

Двухчасовое одностороннее дѣйствіе силы тяжести въ подобныхъ условіяхъ не сопровождалось образованіемъ изгибовъ (опытъ 101). Такой же результатъ получился и въ томъ случаѣ, когда продолжительность индукціи была увеличена до 4 часовъ (опытъ 108).

Опытъ 101. Горохъ.

1/II. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Температура во время опыта 19°—22°.

6/II. Проростки пересажены въ 2 никколевыя корзиночки. I культура помѣщена подъ колоколомъ вмѣстимостью 3,75 литра; II — подъ колоколомъ вмѣстимостью 2,4 литра; колокола соединены каучуковой трубкой, продуваются 3 часа уличнымъ воздухомъ.

7/II. Второе междоузліе достигаетъ длины 1—$1^1/_2$ см. Въ I колоколъ введено 2 сс. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ, во II — 1 сс. той же смѣси. Обѣ культуры черезъ 10 минутъ наклонены на правую сторону на 20° съ отвѣсомъ. Черезъ 2 часа I культура помѣщена на клиностатъ (въ колоколѣ) въ горизонтальномъ положеніи, II культура приведена въ вертикальное положеніе. Оба колокола продуваются уличнымъ воздухомъ непрерывно. Черезъ $2^1/_2$ часа изгибовъ не было.

8/II. *Опытъ оконченъ.* И въ той, и другой культурѣ стебли растутъ прямо. У всѣхъ ростъ второго междоузлія закончился и начало развиваться третье междоузліе.

Опытъ 108. Горохъ.

23/III. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Колоколъ (вмѣстимостью 2 литра) продувается уличнымъ воздухомъ $1^1/_2$ часа. Температура во время опыта $20^1/_2$°—23°.

28/III. Проростки пересажены въ никкелевую корзиночку.

31/III. Начало развиваться третье междоузліе. Въ колоколъ введено $^1/_2$ сс. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ. Черезъ $^1/_4$ часа культура наклонена направо (на 20°). Черезъ 4 часа послѣ этого проростки перенесены на клиностатъ въ чистый воздухъ. Послѣ вращенія на клиностатѣ въ теченіе 4 часовъ были замѣчены изгибы у трехъ вростковъ (назадъ), но не въ ту сторону куда они были наклонены, у одного начинался изгибъ на правую сторону. Еще черезъ часъ направленіе стеблей не измѣнилось.

3/IV. *Опытъ оконченъ.* Новыхъ изгибовъ не было замѣчено.

На основаніи результатовъ описанныхъ опытовъ, я полагаю, можно заключить, что при достаточной продолжительности индукціи геотропическое раздраженіе, воспринятое проростками въ воздухѣ съ примѣсью этилена, сопровождается послѣдѣйствіемъ, причемъ и въ этихъ случаяхъ стебли относятся къ вліянію силы тяжести такъ же, какъ тѣ органы которымъ въ нормальныхъ условіяхъ свойственъ трансверсальный геотропизмъ.

Гл. IV. Образованіе геотропическихъ изгибовъ на клиностатѣ подъ вліяніемъ этилена.

Въ настоящее время можно считать общепризнаннымъ воззрѣніе Сакса, что и на клиностатѣ геотропическое раздраженіе воспринимается. Если въ параллелотропныхъ органахъ оно не вызываетъ реакціи, то только потому, что они получаютъ въ соотвѣтствующихъ положеніяхъ равные по силѣ и противоположные импульсы, которые должны были бы вызвать образованіе изгибовъ, направленныхъ въ противоположныя стороны. Это относится и къ трансверсально геотропичнымъ органамъ, но только въ слѣдующихъ случаяхъ: 1) если

они направлены параллельно наклоненной оси, 2) — подъ угломъ въ 45° относительно оси, отклоненной на такой же уголъ отъ горизонта вверхъ или внизъ, и, наконецъ, 3) — совершенно перпендикулярно горизонтальной оси (направленные параллельно ей — находятся въ положеніи покоя). Но если они направлены подъ какимъ-либо инымъ угломъ относительно ея, то вращеніе, при извѣстныхъ условіяхъ, должно сопровождаться образованіемъ изгиба въ опредѣленномъ направленіи.

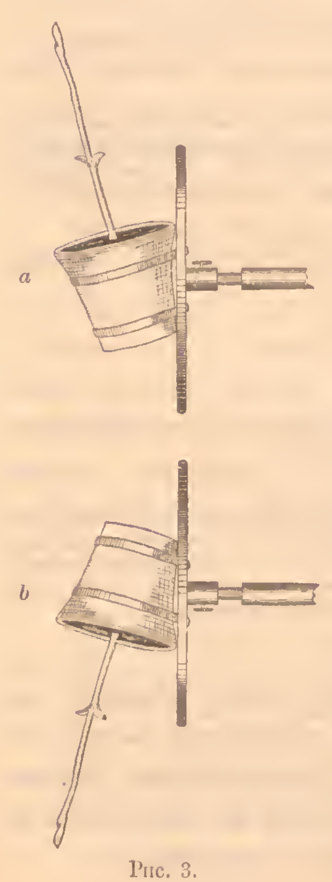


Рис. 3.

Представимъ себѣ трансверсально геотропичный стебель, укрѣпленный на горизонтальной оси клиностата въ такомъ положеніи, какъ это изображено на рис. 3 (*a*). Въ данный моментъ медіана стебля лежитъ въ одной вертикальной плоскости съ осью, и спинная сторона стебля обращена кверху. Въ такомъ положеніи онъ подвергается геотропической индукціи, которая при достаточной продолжительности вызвала бы образованіе изгиба внизъ, т. е. на брюшную сторону. Когда ось клиностата повернется на 180° и стебель приметъ положеніе *b*, то онъ будетъ испытывать побужденіе къ образованію изгиба вверхъ, т. е. опять на брюшную сторону. Слѣдовательно, вращаясь такимъ образомъ вокругъ горизонтальной оси, стебель подвергается дѣйствію перемежающагося раздраженія, подъ вліяніемъ котораго онъ долженъ стремиться образовать изгибъ на брюшную сторону и направиться параллельно оси клиностата. Сказанное, mutatis mutandis, разумѣется, приложимо ко всѣмъ трансверсально геотропичнымъ органамъ (но недорзивентральнымъ), какое бы направленіе ни являлось для нихъ положеніемъ покоя и какою бы стороной къ оси клиностата они ни были обращены.

Такимъ образомъ для трансверсально геотропичныхъ органовъ вращеніе на клиностатѣ устраняетъ направляющее вліяніе силы тяжести только до тѣхъ поръ, пока они сохраняютъ направленіе, параллельное горизонтальной оси или же строго перпендикулярное ей. Но второе положеніе является уже положеніемъ неустойчиваго равновѣсія: всякое уклоненіе отъ него должно вызывать стремленіе къ образованію изгиба, который направилъ бы данный органъ параллельно оси вращенія[1]). Разъ только подобный

1) Точно также положеніемъ неустойчиваго равновѣсія является и направленіе подъ угломъ 45° относительно оси, отклоненной на такой же уголъ отъ горизонта верхъ или внизъ, такъ какъ въ этомъ случаѣ комбинируются направленія, въ которыхъ получаются противоположные импульсы, съ горизонтальнымъ и вертикальнымъ. Поэтому для трансверсально геотропичныхъ органовъ (въ противоположность параллелотропнымъ) еще не достаточно устранить постоянное одностороннее воздѣйствіе силы тяжести и замѣнить его перемѣннымъ, направленнымъ послѣдовательно подъ различными углами (единственно, что достигается вращеніемъ на клиностатѣ), чтобы имѣть основаніе считать всякій изгибъ, возникающій при этихъ условіяхъ, нутаціоннымъ или настическимъ. Къ сожалѣнію, это обстоятельство нерѣдко упускается изъ виду даже въ изслѣдованіяхъ, относящихся къ геотропическимъ свойствамъ растеній.

органъ выведенъ изъ положенія, параллельнаго оси или строго перпендикулярнаго къ ней, онъ уже подвергается направляющему воздѣйствію силы тяжести.

Однако въ дѣйствительности до сихъ поръ образованія изгибовъ трансверсально геотропичными органами въ указанныхъ условіяхъ не наблюдалось. Изъ числа изслѣдователей, производившихъ опыты надъ трансерсально геотропичными органами, одинъ только Czapek, насколько я знаю, обратилъ вниманіе на это обстоятельство [1]).

Онъ справедливо полагалъ, что если главный корень, у котораго уже имѣются боковые корни перваго порядка, вращать на клиностатѣ параллельно горизонтальной оси, то боковые корни должны изгибаться, приближаясь къ горизонтальному направленію. Но на опытѣ этого не получалось: помѣщая на клиностатъ въ указанномъ положеніи проростки Vicia Faba, онъ нашелъ, что боковые корни растутъ въ прежнемъ направленіи, если же ихъ вывести изъ положенія, поставивъ на пути препятствіе (напр. стеклянную пластинку), то они, разъ измѣнивъ направленіе, впослѣдствіи сохраняютъ его. Болѣе нѣжные боковые корни Phaseolus и Cucurbita давали на клиностатѣ (развиваясь въ опилкахъ) самые разнообразные (mannigfachsten) изгибы, но не принимали одного общаго направленія (l. c., p. 1204). Корневища на клиностатѣ также растутъ въ любомъ направленіи, какое бы ни было имъ придано (l. c., p. 1234).

Jost, разсматривая свойства боковыхъ корней, приходитъ также къ заключенію, что на клиностатѣ, если главный корень направленъ параллельно оси, уголъ, образуемый съ нимъ боковыми корнями, долженъ уменьшаться, если же главный корень направленъ перпендикулярно къ ней, то — увеличиваться, (т. е. слѣдовательно, боковые корни должны въ обоихъ случаяхъ приближаться къ оси), но по непонятной причинѣ прибавляетъ къ этому: «Es fehlt bis jetzt an die nötigen Experimenten» [2]). Если даже Jost упустилъ изъ виду опыты Czapek'a или почему-нибудь не придалъ имъ значенія, то, вѣдь, еще Саксъ вполнѣ опредѣленно указалъ, что величина угла между боковымъ и главнымъ корнемъ не зависитъ отъ положенія корня на клиностатѣ [3]). При помощи клиностата онъ и опредѣлялъ величину этого угла, названнаго имъ Eigenwinkel, при чемъ корни укрѣплялись на оси клиностата въ различныхъ положеніяхъ. Stahl [4]) также помѣщалъ на клиностатъ корневища, которымъ свойственъ трансверсальный геотропизмъ, но не указываетъ, чтобы они принимали горизонтальное направленіе, хотя и упоминаетъ, что на клиностатѣ корневища сильно нутировали (на свѣту). Данныя Sachs'a, Stahl'я и Czapek'a хотя и имѣютъ только ограниченное значеніе, какъ вообще всѣ отрицательные результаты, но все же нельзя сказать, что бы опытовъ надъ ростомъ трансверсально геотропичныхъ органовъ (или, въ частности, боковыхъ корней) на клиностатѣ не было сдѣлано.

1) Czapek, Fr. Ueber d. Richtungsursachen d. Seitenwurzeln u. einig. and. plagiotrop. Pflanzentheile. Sitzungsber. d. k. Ak. d. Wiss. in Wien. Bd. 104, Abth. I, p. 1227. 1895.

2) Jost, L. Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. I Aufl. 1904, p. 554—555, примѣчаніе.

3) Sachs, J. Ueber das Wachsthum der Haupt-und Nebenwurzeln. Arb. d. bot. Inst. zu Würzburg. Bd. I, p. 599. 1874.

4) Stahl, Einfluss des Lichtes auf den Geotropismus einiger Pflanzenorgane. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. II, p. 387. 1882.

Итакъ изгибы трансверсально геотропичныхъ органовъ на клиностатѣ не были получены. Но если существуетъ такая форма геотропизма, въ силу которой данный органъ стремится принять горизонтальное направленіе, то образованіе изгибовъ на клиностатѣ въ указанныхъ условіяхъ представляется неизбѣжнымъ слѣдствіемъ этого стремленія, — настолько, что Czapek, получивъ отрицательные результаты, счелъ нужнымъ для объясненія ихъ предложить особую гипотезу о взаимодѣйствіи двухъ формъ геотропизма, одновременно присущихъ, по его мнѣнію, плагіотропнымъ органамъ [1]). Онъ предполагалъ, что боковымъ корнямъ одновременно свойственъ и положительный, и трансверсальный геотропизмъ. Чтобы объяснить отсутствіе изгибовъ на клиностатѣ, вводилось новое предположеніе, состоящее въ томъ, что оба геотропизма имѣютъ общій аппаратъ и, когда бездѣйствуетъ одинъ изъ нихъ (на клиностатѣ — положительный), то и другой не можетъ проявиться. Гипотезу Czapek'а я привожу (не входя въ ея разсмотрѣніе) только для того, чтобы показать, насколько ему представлялось неизбѣжнымъ образованіе изгибовъ на клиностатѣ, если трансверсальный геотропизмъ существуетъ. Въ настоящее время въ существованіи его едва ли кто сомнѣвается, но между тѣмъ сохраняютъ свою силу и отрицательные результаты, повидимому, непримиримые съ представленіемъ о немъ, которые были получены Sachs'омъ, Stahl'емъ и Czapek'омъ [2]).

Мнѣ кажется, это противорѣчіе можетъ разъясниться, если будетъ опредѣлено время релаксаціи для трансверсально геотропичныхъ органовъ. Возможно, что слѣдъ воспринятаго раздраженія у нихъ слишкомъ скоро исчезаетъ и поэтому, чтобы прерывистое раздраженіе могло привести къ реакціи, паузы между отдѣльными періодами его должны быть достаточно коротки. Въ данномъ случаѣ періоды раздраженія соотвѣтствуютъ тѣмъ промежуткамъ времени, когда объектъ находится въ одной вертикальной плоскости съ осью клиностата, направляясь вверхъ или внизъ (а также и въ близкихъ къ этимъ положеніяхъ). Быть можетъ, въ упомянутыхъ опытахъ скорость вращенія была такова, что за время перехода отъ верхняго положенія къ нижнему дѣйствіе воспринятаго раздраженія успѣвало прекратиться и поэтому отдѣльные импульсы не могли суммироваться.

Боковые корни по нѣкоторымъ своимъ свойствамъ представляютъ трудный объектъ для изслѣдованія: такъ, напр. Czapek [3]) не могъ обнаружить у нихъ геотропическаго послѣдѣйствія на клиностатѣ. Поэтому къ отрицательнымъ результатамъ въ данномъ случаѣ слѣдуетъ относиться съ особенной осторожностью. Перемежающееся раздраженіе и у нихъ вызываетъ образованіе изгиба, если паузы коротки, какъ это можно видѣть изъ опытовъ Czapek'а [4]): направляя боковые корни Vicia Faba поперемѣнно отвѣсно внизъ и подъ

1) l. c., p. 1227. Впослѣдствіи впрочемъ онъ отказался отъ этого взгляда (Weitere Beiträge zur Kenntniss der geotropischen Reizbewegungen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bb. 32, p. 247. 1898).

2) Czapek, отказываясь отъ признанія двухъ формъ геотропизма плагіотропныхъ органовъ и принимая, что имъ свойственна единая форма (трансверсальнаго) геотропизма, не разсматривалъ вновь вопроса объ изгибахъ на клиностатѣ.

3) Czapek, Fr. Unters. über Geotropismus. Jahrb. f. w. Bot. Bd. 27, p. 299. 1895.

4) Czapek, Fr. Richtungsursachen d. Seitenwurzeln u.s w. Sitzungsber. d. k. Ak. d. Wiss. in Wien. Bd. 104. I Abt., p. 1217. 1895.

угломъ въ 50° съ плоскостью горизонта вверхъ, каждый разъ на 10 секундъ, онъ получилъ изгибъ книзу изъ второго положенія. Въ этомъ случаѣ, слѣдовательно, періоды раздраженія и промежутки между ними (т. е. то время, когда корни были направлены вертикально внизъ) имѣли одинаковую продолжительность [1]). Впрочемъ, причиною того, что въ упомянутыхъ опытахъ Sachs'a, Stahl'я и Czapek'a боковые корни и корневища не давали изгибовъ на клиностатѣ могли быть и другія обстоятельства, но о нихъ трудно высказывать предположенія, такъ какъ опыты описаны недостаточно подробно.

Несмотря на указанные отрицательные результаты, на основаніи имѣющихся свѣдѣній о воспріятіи геотропическаго раздраженія на клиностатѣ и въ особенности на основаніи данныхъ Fitting'a и Harreveld'a о вліяніи вращенія вокругъ наклонной оси (которыя далѣе будутъ разсмотрѣны) слѣдуетъ признать въ высшей степени вѣроятнымъ, что при извѣстныхъ условіяхъ трансверсально геотропичные органы на клиностатѣ должны давать изгибы, вызываемые направляющимъ дѣйствіемъ силы тяжести. Убѣдившись, что подъ вліяніемъ этилена проростки гороха и настурціи измѣняютъ свои геотропическія свойства, я рѣшилъ попытаться получить изгибы стеблей этихъ растеній при непрерывномъ вращеніи вокругъ горизонтальной оси въ воздухѣ съ примѣсью этилена. Положительный результатъ служилъ бы подтвержденіемъ вывода объ измѣненіи геотропическихъ свойствъ.

Методика.

Только для перваго изъ этихъ опытовъ были примѣнены проростки, которые уже имѣли одинъ изгибъ, такъ какъ ранѣе были подвергнуты дѣйствію этилена. Для всѣхъ остальныхъ объектами служили прямые стебли, развивавшіеся въ чистомъ воздухѣ. Они подвергались вліянію этилена иногда тотчасъ же послѣ начала вращенія, иногда — спустя болѣе или менѣе продолжительное время.

По существу эти опыты весьма просты, но выработать такую постановку, при которой получались бы вполнѣ однообразные результаты, едва ли возможно. Наибольшее и непреодолимое затрудненіе состоитъ въ томъ, что стебли часто закручиваются вокругъ своей оси и притомъ явленіе это весьма непостоянно: одни закручиваются вправо, другіе влѣво (у одного и того же вида растенія), на различные углы и въ различные промежутки времени. Такимъ образомъ совершенно невозможно предугадать, будетъ ли закручиваться данный стебель и въ какую сторону, а если закручиваніе уже началось, то будетъ ли оно продолжаться или остановится.

Какъ и въ предыдущихъ опытахъ, ось клиностата была введена внутрь колокола, помѣщавшагося въ горизонтальномъ положеніи на особой деревянной подставкѣ и плотно прижатаго краями къ слою глицеринъ-желатина, налитаго въ латунную луженую тарелку (табл. I, рис. 1).

---

1) Czapek придавалъ иное значеніе этому опыту, видя въ немъ доказательство двоякаго геотропизма боковыхъ корней, но здѣсь нѣтъ надобности разсматривать толкованіе Czapek'a, потому что впослѣдствіи, какъ было упомянуто, онъ самъ отказался отъ этого взгляда.

Такъ какъ въ этихъ опытахъ ожидалось появленіе изгибовъ, то равномѣрность хода клиностата была тщательно провѣрена въ условіяхъ опыта и при соотвѣтствующей нагрузкѣ.

Уже небольшая неравномѣрность вращенія можетъ быть причиною образованія геотропическихъ изгибовъ на клиностатѣ у ортотропныхъ органовъ; для трансверсально геотропичныхъ — она не имѣетъ особенно важнаго значенія въ томъ случаѣ, если положеніе покоя ихъ совпадаетъ съ горизонтальной плоскостью, потому что будучи направлены подъ угломъ къ оси, они и при равномѣрномъ вращеніи должны давать изгибы, а направленные параллельно (горизонтальной) оси — даже и при остановкѣ вращенія не должны изгибаться.

Относительно ортотропныхъ органовъ еще Dutrochet[1]) указалъ, что при неравномѣрномъ движеніи у нихъ могутъ появиться геотропическіе изгибы. Въ его опытахъ проростки проходили одну половину окружности въ 66 секундъ, другую — 54 секунды.

Въ недавнее время Harreveld[2]), обстоятельно изслѣдовавшій весьма точными способами равномѣрность вращенія различныхъ клиностатовъ, параллельно съ наблюденіями надъ образованіемъ изгибовъ различными органами во время вращенія, пришелъ къ выводу, что эти изгибы, считаемые обыкновенно автономными (нутаціонными или настическими), въ дѣйствительности являются результатомъ геотропической индукціи, т. е. происходятъ оттого, что вслѣдствіе неравномѣрной скорости движенія клиностата изслѣдуемые органы бываютъ обращены одной и той же стороной кверху и книзу въ теченіе различныхъ промежутковъ времени.

Въ его опытахъ, если полный оборотъ совершался въ $365^7/_{11}$ секунды, а разность во времени прохожденія полуокружностей составляла всего $1^1/_2$ секунды, т. е. была менѣе $^1/_2\%$, корни Vicia Faba уже давали изгибы, бóльшая часть которыхъ была направлена въ одну сторону, соотвѣтственно дѣйствію геотропическаго раздраженія.

Отсюда онъ и заключаетъ, что для болѣе чувствительныхъ органовъ существующіе клиностаты не могутъ устранить направляющаго воздѣйствія силы тяжести. Для стеблей (объектомъ служило подсѣмядольное колѣно Helianthus annuus) разность въ $14^4/_{11}$ секунды при времени обращенія $664^8/_{11}$ секунды, т. е. болѣе 2%, еще не оказывала вліянія. Отсюда слѣдуетъ, что Пфефферовскій клиностатъ (служившій для этихъ опытовъ и превосходящій по точности остальные) имѣетъ достаточно равномѣрный ходъ, чтобы одностороннее воздѣйствіе силы тяжести уже не могло оказать замѣтнаго направляющаго вліянія, если объектомъ служатъ стебли растеній.

1) Dutrochet, H Recherches anatomiques et physiologiques sur la structure intime des animaux et des végétaux, et sur leur motilité. Paris 1824. IV; повторено въ «Mémoires pour servir à l'histoire anatomique et physiolog. des végétaux et des animaux». Paris. 1837. T. 2. XII, § 2.

2) Harreveld, Ph., van. Die Unzulänglichkeit der heutigen Klinostaten für reizphysiologische Untersuchungen. Recueil des Travaux Bot. Néerlandais Vol. III, p. 173—309. 1907. Ранѣе Harreveld'a Newcombe въ небольшой статьѣ (Limitations of the klinostat as an instrument for scientific research. Science. N. S. Vol. 20, p. 376. New York. 1904) отмѣтилъ нѣкоторыя обстоятельства, при которыхъ и на клиностатѣ могутъ образоваться геотропическіе изгибы (вліяніе центробѣжной силы, чрезмѣрная медленность вращенія, неодинаковое отношеніе разныхъ сторонъ органа къ воздѣйствію силы тяжести). Утвержденіе Newcombe'a, что параллелотропные органы испытываютъ различное по силѣ геотропическое раздраженіе, если ихъ отклонить на одинъ и тотъ же уголъ отъ горизонтальнаго направленія кверху или книзу, — опровергается опытами Fitting'a (Unters. über d. geotr. Reizvorgang. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 41, 257. 1905).

Находившійся въ моемъ распоряженіи Пфефферовскій клиностатъ обнаружилъ гораздо большую равномѣрность движенія, чѣмъ тотъ, который былъ примѣненъ Harreveld'омъ въ опытахъ надъ стеблями: если полный оборотъ совершался въ 985,6 сек., то разность временъ прохожденія полуокружностей составляла всего 1,2 сек., т. е. 0,12%. Такимъ образомъ въ моихъ опытахъ образованіе изгибовъ на клиностатѣ нельзя разсматривать, какъ проявленіе отрицательнаго геотропизма, т. е. видѣть причину ихъ въ томъ, что проростки въ какомъ-либо положеніи оставались въ теченіе бóльшаго промежутка времени, чѣмъ въ соотвѣтствующемъ противоположномъ.

Направляющее воздѣйствіе силы тяжести на клиностатѣ можетъ быть вызвано, кромѣ неравномѣрности вращенія, также и недостаточно точной установкой оси въ горизонтальномъ положеніи, если изслѣдуемые органы растеній направлены не параллельно ей.

Dutrochet[1]) нашелъ, что отклоненіе оси на $1\frac{1}{2}^\circ$ отъ горизонтальнаго направленія (при скорости 40 оборотовъ въ минуту) достаточно, чтобы заставить и корни, и стебли направиться параллельно оси въ противоположныя стороны.

Fitting[2]) примѣнилъ вращеніе вокругъ наклонной оси направленныхъ подъ угломъ къ ней стеблей и корней, какъ методъ изслѣдованія геотропическихъ свойствъ. Стебель или корень, направленный подъ нѣкоторымъ угломъ къ оси (но не перпендикулярно ей), описываетъ коническую поверхность. Если при этомъ ось вращенія наклонена, то изслѣдуемый объектъ въ верхнемъ и нижнемъ положеніи отклоняется на различные углы отъ горизонтальнаго направленія. Такимъ образомъ получается возможность при непрерывномъ вращеніи комбинировать перемежающееся воздѣйствіе силы тяжести въ двухъ любыхъ различныхъ между собою положеніяхъ относительно горизонта.

Для стеблей Vicia Faba Fitting нашелъ, что чѣмъ болѣе направленіе ихъ приближается къ перпендикулярному относительно оси, тѣмъ меньшаго наклоненія ея достаточно, чтобы направляющее вліяніе силы тяжести могло обнаружиться. Если направленіе стеблей образуетъ съ осью уголъ въ $87\frac{3}{4}^\circ$, то отклоненіе ея менѣе чѣмъ на $\frac{1}{2}^\circ$ отъ плоскости горизонта уже сопровождается образованіемъ изгибовъ. Если же стебель направленъ подъ угломъ въ 5° къ оси, то она должна быть гораздо болѣе наклонена (а именно также на 5°) относительно горизонта, чтобы геотропическое раздраженіе обнаружилось[3]). Несмотря на нѣ-

---

1) Dutrochet. Recherches anat. et phys. sur la struct. intime des animaux et der végétaux, p. 145.

2) Fitting, H. Untersuch. über d. geotrop. Reizvorgang. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 41, p. 225. 1905.

3) l. c., p. 306—311. Указанная Fitting'омъ зависимость предѣла чувствительности стеблей отъ ихъ направленія относительно оси, мало понятная сама по себѣ, вызываетъ нѣкоторое удивленіе также и потому, что относительно прерывистаго раздраженія неодинаковой продолжительности въ противоположныхъ направленіяхъ имъ были волучены иные результаты. Тамъ наоборотъ, какъ и слѣдовало ожидать, въ томъ случаѣ оказывала вліяніе меньшая разница въ продолжительности отдѣльныхъ періодовъ раздраженія, когда стебли болѣе приближались къ горизонтальному направленію (l. c., p. 315—316). Кромѣ того, результаты и нѣкоторыхъ другихъ опытовъ съ вращеніемъ вокругъ наклонной оси представляются чрезвычайно странными, напр., тѣхъ, въ которыхъ уже образовавшійся изгибъ уменьшался, если стебель, до этого значительно отклоненный отъ оси, былъ приближенъ къ ней.

которыя странности, въ общемъ данныя Fitting'а въ связи съ опытами Dutrochet убѣдительно доказываютъ, что уже слабое наклоненіе оси можетъ вызвать образованіе геотропическихъ изгибовъ.

Для трансверсально геотропичныхъ органовъ небольшое наклоненіе оси играетъ второстепенную роль, но я все таки въ каждомъ опытѣ тщательно устанавливалъ ось въ горизонтальномъ направленіи по водяному уровню[1]).

Если ось направлена не горизонтально, то параллелотропные стебли изгибаются къ тому концу ея, который лежитъ выше, тогда какъ трансверсально геотропичные—должны направляться къ тому концу, къ которому они наклонены, независимо отъ того, лежитъ ли онъ выше или ниже другого конца (если уголъ отклоненія оси не великъ). Въ моихъ опытахъ конецъ оси, установленной горизонтально, на которомъ была укрѣплена культура, если и могъ смѣститься, то только книзу, такъ какъ нагрузка была довольно велика, но въ дѣйствительности, когда въ нѣкоторыхъ случаяхъ по окончаніи опыта направленіе оси было провѣрено, — этого не оказывалось.

Проростки, служившіе матеріаломъ для опытовъ, первоначально выращивались въ чистомъ воздухѣ и поэтому были тонки и гибки. На клиностатѣ концы ихъ могли нѣсколько свѣшиваться. Чтобы удержать ихъ въ приданномъ имъ положеніи, при пересадкѣ въ никкелевыя корзиночки я помѣщалъ нижнюю часть стебля въ стеклянную трубку (табл. I, рис. 7), хотя слѣдуетъ замѣтить, что при отвисаніи направленіе ихъ не могло измѣняться такъ, что бы это благопріятствовало образованію изгибовъ въ ту сторону, куда культуры были наклонены, если бы стебли остались параллелотропными.

Проростки гороха примѣнялись для опыта въ томъ возрастѣ, когда заканчивалось развитіе второго междоузлія или когда ростъ его уже окончился и начиналось развитіе третьяго междоузлія. У настурціи первое междоузліе растетъ въ теченіе долгаго времени и достигаетъ большой длины. Образованіе изгибовъ у нея во всѣхъ опытахъ происходило въ первомъ междоузліи; проростки примѣнялись въ возрастѣ отъ 7 до 9 дней.

Описаніе опытовъ.

Первый опытъ изъ этой серіи (99) былъ сдѣланъ надъ проростками гороха. Въ теченіе первыхъ 4 дней они находились въ уличномъ воздухѣ. Затѣмъ они были подвергнуты вліянію этилена. Верхушки ихъ изогнулись (большинство на спинную сторону) и приняли горизонтальное направленіе. Изгибы произошли во второмъ междоузліи. Черезъ 4 дня, когда горизонтальныя части стеблей достигали длины приблизительно 3 см., культура была помѣ-

---

1) Для этой цѣли на ось помѣщалась шлифованная стеклянная пластинка, на которой находилось два ватерпаса: одинъ—направленный параллельно оси клиностата, другой—перпендикулярно къ ней; свободный конецъ пластинки упирался на подставку съ кремальерой, посредствомъ которой онъ могъ подниматься и опускаться; ось клиностата устанавливалась такимъ образомъ, чтобы стеклянная пластинка, параллельная ей, лежала горизонтально.

щена на клиностатъ въ горизонтальномъ положеніи, при чемъ, слѣдовательно, концы стеблей были направлены почти перпендикулярно оси въ разныя стороны. Клиностатъ тотчасъ былъ приведенъ въ движеніе. Ось его вращалась со скоростью одного оборота въ 33 мин. Культура была закрыта колоколомъ вмѣстимостью 7 литровъ, въ который послѣ кратковременнаго продуванія чистаго воздуха было введено $1\frac{1}{2}$ сс. $\frac{1}{2}\%$ смѣси этилена съ воздухомъ. Черезъ 2 дня было введено 2 сс. той же смѣси, безъ продуванія. Черезъ 3 дня, послѣ того какъ проростки были помѣщены на клиностатъ, опытъ былъ прекращенъ.

Въ результатѣ оказалось, что изъ 11 проростковъ 10 дали изгибы по направленію къ оси (въ большинствѣ случаевъ на брюшную сторону), при чемъ 3 изъ нихъ направились параллельно оси, остальные—еще не достигли этого направленія; одиннадцатый стебель сначала изогнулся въ плоскости, перпендикулярной къ оси, затѣмъ вторымъ изгибомъ направился въ противоположную сторону, чѣмъ всѣ остальные. Къ сожалѣнію, у меня не было времени сфотографировать эту культуру.

Опытъ 99. Горохъ.

(На клиностатѣ подъ угломъ къ оси).

20/I. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Культура помѣщается подъ колоколомъ въ 3,75 л., черезъ который ежедневно въ теченіе 5 ч. пропускается уличный воздухъ.

23/I. Проростки пересажены въ никкелевую корзиночку.

24/I. Введено $1\frac{1}{2}$ сс. $\frac{1}{2}\%$ смѣси этилена съ воздухомъ.

28/I. Концы стеблей растутъ въ горизонтальномъ направленіи, достигаютъ длины 3 см. Культура помѣщена на клиностатъ въ такомъ положеніи, чтобы концы стеблей были направлены приблизительно подъ прямымъ угломъ къ горизонтальной оси. Клиностатъ приведенъ въ движеніе (одинъ оборотъ въ 33 мин.). Въ колоколъ (7-литровый) введено послѣ продуванія $1\frac{1}{2}$ сс. $\frac{1}{2}\%$ смѣси этилена съ воздухомъ.

30/I. Концы 10 стеблей вновь изогнулись къ оси клиностата. Введено 2 сс. $\frac{1}{2}\%$ смѣси этилена съ воздухомъ безъ предварительнаго продуванія.

31/I. *Опытъ оконченъ.* Всего было 11 проростковъ. У 3 проростковъ концы стеблей направились параллельно оси клиностата, у другихъ трехъ—подъ угломъ около 45°, у 4-хъ — подъ угломъ около 30°. Одиннадцатый проростокъ изогнулся дважды на спинную сторону; такъ какъ стебель его закрученъ, то вторымъ изгибомъ онъ направился почти параллельно оси, но въ противоположную сторону, чѣмъ всѣ остальные.

Во всѣхъ слѣдующихъ опытахъ примѣнялись проростки, не подвергавшіеся дѣйствію этилена до того, какъ они были помѣщены на клиностатъ, и потому не имѣвшіе изгибовъ. Вначалѣ я придавалъ проросткамъ при пересадкѣ въ никкелевую корзиночку такое положеніе, чтобы на клиностатѣ они были обращены боковой стороной къ оси вращенія. Это дѣлалось съ тою цѣлью, чтобы можно было наблюдать вліяніе геотропическаго раздраженія и въ тѣхъ случаяхъ, когда нутаціонный изгибъ (на спинную сторону) почему-либо усилится: взаимодѣйствіе нутаціи и геотропизма выразилось бы въ томъ, что конецъ стебля принялъ бы послѣ изгиба среднее положеніе между направленіемъ оси и перпендикуляромъ къ ней, при чемъ отклоненіе его отъ плоскости, перпендикулярной къ оси, и служило бы доказательствомъ участія геотропизма въ образованіи изгиба [1]).

1) Такая постановка была принята подъ вліяніемъ аналогичныхъ соображеній, высказанныхъ Ротертомъ («О геліотропизмѣ». Казань. 1893, стр. 105—107), къ которымъ слѣдуетъ внести поправку, что въ его опытахъ у вертикально стоявшихъ проростковъ къ нутаціи присоединялось еще вліяніе трансверсальнаго геотропизма (это можно утверждать, по крайней мѣрѣ, относительно вики и настурціи), такъ какъ опыты велись въ лабораторномъ воздухѣ.

Въ опытѣ **111** шестидневные проростки гороха были помѣщены на клиностатъ подъ угломъ въ 45° къ оси, которая тотчасъ была приведена въ движеніе, и вслѣдъ затѣмъ въ колоколъ былъ введенъ этиленъ. Остальныя условія были тѣ же, что и въ предыдущемъ опытѣ. Проростки вращались въ теченіе 5 сутокъ. Начало образованія изгибовъ было замѣчено черезъ двое сутокъ. По окончаніи опыта было найдено, что изъ 11 проростковъ 5 изогнулись по направленію къ оси, въ ту сторону, куда были наклонены, три — почти въ ту же сторону, въ плоскости, наклоненной подъ угломъ около 25° къ оси[1]), и три остались прямыми, хотя и не отмерли.

Опытъ 111. Горохъ.

(На клиностатѣ подъ угломъ 45° къ оси. Температура 20°—21° во все время опыта).

4/IV. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Культура помѣщается подъ колоколомъ, черезъ который непрерывно пропускается уличный воздухъ.

10/IV. Пересажены въ никкелевую корзиночку со стеклянными трубками. Проростки на 2 часа поставлены въ вертикальномъ положеніи въ токѣ уличнаго воздуха, затѣмъ культура помѣщена на клиностатъ, подъ угломъ въ 45° къ горизонтальной оси. Въ колоколъ (7-литровый) введено $1\frac{1}{2}$ cc. $\frac{1}{2}$ % смѣси этилена съ воздухомъ, и клиностатъ приведенъ въ движеніе (одинъ оборотъ въ 31 м. 19 с.).

11/IV. Изгибовъ нѣтъ. Введено то же количество этилена, какъ наканунѣ.

12/IV. Нѣкоторые стебли начали изгибаться. Введено послѣ получасового продуванія 1 cc. $\frac{1}{2}$ % смѣси этилена съ воздухомъ.

13/IV. Ростъ очень слабый.

16/IV. *Опытъ оконченъ.* Изогнулись по направленію къ оси—5, въ плоскости подъ угломъ 25° къ оси—3, не изогнулись — 3.

Слѣдующіе 5 опытовъ (**114**, **118**, **119**, **123** и **124**) были произведены надъ проростками настурціи. Въ нихъ стебли были направлены подъ бо́льшимъ угломъ относительно оси, а именно подъ угломъ въ 68°. Въ двухъ опытахъ (**118** и **119**) скорость вращенія была приблизительно вдвое больше, чѣмъ въ остальныхъ, (одинъ оборотъ въ 16 мин. 25 сек.), но это не оказало никакого замѣтнаго вліянія.

Въ опытѣ 114, какъ и въ предыдущихъ, ось клиностата была введена въ колоколъ вмѣстимостью 7 литровъ; во всѣхъ остальныхъ, начиная съ опыта 118, примѣнялся колоколъ, вдвое большаго объема, въ которомъ помѣщалась и контрольная культура въ вертикальномъ положеніи.

Въ среднемъ въ этихъ пяти опытахъ число стеблей, изогнувшихся къ оси, по сравненію съ тѣми, которые изогнулись въ плоскости, болѣе или менѣе наклоненной къ ней, было гораздо больше, чѣмъ въ опытѣ 111, въ которомъ стебли были направлены подъ угломъ 45° относительно оси. Чтобы провѣрить, зависѣлъ ли полученный результатъ отъ того, насколько были наклонены стебли, въ слѣдующемъ опытѣ (**128**) проростки настурціи

---

1) Здѣсь подразумѣвается наименьшій уголъ съ осью.

Опытъ 114. Tropaeolum majus.

(На клиностатѣ подъ угломъ 68° къ оси. Температура во время опыта 18°—19°).

2/X. Нестерилизованныя, размоченныя сѣмена посажены въ песокъ (стерилизованный).

9/X. Проростки пересажены въ двѣ никкелевыя корзиночки съ трубками (въ стерилизованныя опилки). Одна культура помѣщена на клиностатъ въ 7-литровомъ колоколѣ; стебли направлены подъ угломъ 68° къ оси; затѣмъ культура вмѣстѣ съ колоколомъ и станкомъ приведена въ такое положеніе, чтобы стебли направлялись вертикально вверхъ; другая культура помѣщена (въ вертикальномъ положеніи) подъ колоколомъ въ 3.75 литра. Колокола соединены и продуваются непрерывно уличнымъ воздухомъ.

11/X. Въ 11 ч. у. клиностатъ приведенъ въ движеніе, при чемъ ось направлена горизонтально. Скорость—одинъ оборотъ въ 31 м. 19 с.
Въ 4 ч. дня введенъ этиленъ: въ колоколъ на клиностатѣ 1 сс. $^1/_2$ % смѣси этилена съ воздухомъ, въ другой колоколъ—$^1/_2$ сс. той же смѣси, и затѣмъ колокола снова соединены каучуковой трубкой.
Въ 9 ч. вечера у неподвижно стоявшихъ стеблей образовались пологіе изгибы, на клиностатѣ изгибовъ нѣтъ.

13/X. *Опытъ оконченъ.* На клиностатѣ: 8 стеблей образовали изгибы къ оси въ ту сторону, куда были наклонены, одинъ—къ оси, но въ противоположномъ направленіи, два—въ плоскости, наклоненной къ оси подъ угломъ въ 68°.
Неподвижно стоявшіе: 10 послѣ изгиба приняли горизонтальное направленіе; одинъ послѣ перваго изгиба образовалъ еще два въ той же вертикальной плоскости, и такимъ образомъ конецъ его вновь направился горизонтально.

Опытъ 118. Tropaeolum majus.

(На клиностатѣ подъ угломъ въ 68° къ оси. Температура во время опыта колебалась отъ 18° до 23°).

11/I. Нестерилизованныя, размоченныя сѣмена посажены въ стерилизованный песокъ.

17/I. Проростки пересажены въ 2 никкелевыя корзиночки съ трубками, въ песокъ; стебли длиною отъ 3 до 5 см. Культуры помѣщены въ вертикальномъ положеніи подъ колоколами, черезъ которые непрерывно пропускается уличный воздухъ.

18/I. Одна корзиночка помѣщена на ось клиностата, которая тотчасъ приведена въ движеніе; одинъ оборотъ—въ 16 м. 25 сек.; стебли направлены подъ угломъ 68° къ оси. Другая корзиночка поставлена нѣсколько наклонно въ томъ же самомъ колоколѣ (вмѣстим. 14 литр.), въ который введена ось клиностата. Послѣ $^1/_2$-часового продуванія сильнымъ токомъ уличнаго воздуха введено 3 сс. $^1/_2$ % смѣси этилена съ воздухомъ.

19/I. Неподвижно стоявшіе изогнулись: 10—до горизонтальнаго направленія, 1—на 45°.
На клиностатѣ 8 стеблей изогнулись къ оси (изъ нихъ 1 направился параллельно оси, остальные дали гораздо болѣе слабые изгибы); 1 изогнулся въ противоположномъ направленіи, 2 остались не изогнутыми.

22/I. *Опытъ оконченъ.* На клиностатѣ у 4 стеблей концы направлены параллельно оси; у другихъ четырехъ—изогнуты въ сторону оси, но подъ меньшими углами; у двухъ—въ плоскости, наклоненной къ оси подъ угломъ 40°; вторымъ изгибомъ они направились къ оси; у одного также къ оси, но въ противоположномъ направленіи, чѣмъ у остальныхъ изогнувшихся въ ту сторону, куда они были наклонены (относительно оси).

Опытъ 119. Tropaeolum majus.

(На клиностатѣ подъ угломъ 68° къ оси. Температура 18°—20°).

26/I. Нестерилизованныя, размоченныя сѣмена посажены въ песокъ (стерилизованный). Черезъ колокола пропускается непрерывный токъ уличнаго воздуха.

1/II. Отобраны проростки со стеблями длиною 4—5 см. и посажены въ двѣ никкелевыя корзиночки съ трубками.

2/II. Одна корзиночка помѣщена на клиностатъ, подъ угломъ 68° къ оси; клиностатъ тотчасъ приведенъ въ движеніе; другая поставлена нѣсколько наклонно внутри того же 14-литроваго колокола, въ который введена ось клиностата. Послѣ $^1/_2$-часового продуванія введено $2^1/_2$ сс. $^1/_2$ % смѣси этилена съ воздухомъ.
Черезъ 3 часа неподвижно стоявшіе проростки начали изгибаться, на клиностатѣ изгибовъ не было. Черезъ 4 ч. неподвижные всѣ дали изгибы, на клиностатѣ одинъ началъ гнуться.
Черезъ 5 часовъ на клиностатѣ еще у двухъ слабые изгибы къ оси.

3/II. *Опытъ оконченъ.* На клиностатѣ: 4 стебля дали изгибы къ оси, въ ту сторону, куда культура была наклонена; 2—въ противоположномъ направленіи; 1—изогнулся въ плоскости, наклоненной къ оси подъ угломъ около 40°; 2—въ плоскости, наклоненной къ оси подъ угломъ въ 68°; 2—остались прямыми.
Неподвижные всѣ изогнулись: 7—до горизонтальнаго направленія, остальные—на 70°—80°.

Опытъ 123. Tropaeolum majus.

(На клиностатѣ подъ угломъ 68° къ оси. Температура во время опыта колебалась отъ $17^1/_2$° до 22°).

7/II. Размоченныя, нестерилизованныя сѣмена посажены въ стерилизованный песокъ. Черезъ колокола пропускается непрерывный токъ уличнаго воздуха.

16/II. Проростки пересажены въ 2 никкелевыя корзиночки съ трубками. Одна изъ нихъ помѣщена на клиностатъ, подъ угломъ въ 68° къ оси; клиностатъ приведенъ въ движеніе (одинъ оборотъ въ 33 мин.); другая поставлена нѣсколько наклонно внутри того же (14-литроваго) колокола; введено $2^1/_2$ сс. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ.

18/II. На клиностатѣ 3 стебля изогнулись приблизительно на 70° къ оси, въ ту сторону, куда были наклонены, 3—въ противоположномъ направленіи, остальные еще не выросли изъ трубочекъ.

19/II. Этиленъ не вводился.

20/II. Введено прежнее количество этилена.

21/II. *Опытъ оконченъ.* На клиностатѣ: 4 проростка изогнулись къ оси, въ ту сторону, куда были наклонены (послѣ изгиба концы имѣютъ длину $3^1/_2$, 4 и 5 см.); 2 стебля имѣютъ изгибы въ противоположномъ направленіи (длина концовъ—4 и $1^1/_4$ см.), 3 стебля вначалѣ изогнулись въ сторону, противоположную той, куда были наклонены относительно оси, но одинъ изъ нихъ вслѣдствіе закручиванія измѣнилъ свое направленіе; одинъ стебель изогнулся почти на 180° въ плоскости, наклоненной къ оси подъ угломъ около 25°; два стебля не выросли изъ трубокъ и отмерли.
Неподвижные: 7 стеблей дали изгибы, 4 — не выросли изъ трубокъ и отмерли.

Опытъ 124. Tropaeolum majus.

(На клиностатѣ подъ угломъ 68° къ оси. Температура во время опыта колебалась отъ 20° до 24°).

20/II. Размоченныя, нестерилизованныя сѣмена посажены въ песокъ (стерилизованный).

27/II. 11 проростковъ пересажены въ никкелевую корзиночку съ трубками. Культура помѣщена въ вертикальномъ положеніи подъ 2-литровымъ колоколомъ, черезъ который пропускается сильный токъ уличнаго воздуха. Черезъ $4^1/_2$ часа корзиночка помѣщена на ось клиностата подъ угломъ въ 68°; проростки обращены къ оси боковой стороной; клиностатъ приведенъ въ движеніе (1 оборотъ въ 33 мин.). Въ колоколъ (14-литровый) введено $2^1/_2$ сс. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ.

28/II. Большинство стеблей дали слабые изгибы въ ту сторону, куда были наклонены. Введено 4 сс. той же смѣси.

29/II. *Опытъ оконченъ.* Девять стеблей изогнулись къ оси, въ ту сторону, куда были наклонены, 2—росли прямо.

Опытъ 128. Tropaeolum majus.

(На клиностатѣ подъ угломъ 35° къ оси. Температура во время опыта колебалась отъ 20° до 27°).

4/III. Нестерилизованныя, размоченныя сѣмена посажены въ песокъ (стерилизованный). Черезъ колокола пропускается уличный воздухъ ежедневно не менѣе 5 часовъ.

13/III. Одна культура (въ никкелевой корзиночкѣ) помѣщена на клиностатъ; проростки направлены подъ угломъ 35° къ оси. Другая культура поставлена внутри того же колокола (вмѣстимостью 14 литр.). Клиностатъ приведенъ въ движеніе. Въ колоколъ введено $2^1/_2$ сс. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ. Черезъ $4^1/_4$ ч. на клиностатѣ одинъ стебель началъ изгибаться, изъ неподвижныхъ изогнулось 4.

14/III. *Опытъ оконченъ.* На клиностатѣ 10 стеблей изогнулись въ плоскости, наклоненной къ оси подъ угломъ 20° (8 на спинную, 2 на боковую сторону), изъ нихъ одинъ далъ еще изгибъ и направился параллельно оси.

были направлены подъ гораздо меньшимъ угломъ (35°) къ оси. Дѣйствительно, изъ 11 проростковъ 10 изогнулись въ плоскости, наклоненной къ оси подъ угломъ около 20°, одиннадцатый остался прямымъ.

Почти во всѣхъ случаяхъ, когда стебли изгибались не по направленію оси, а въ плоскости, наклоненной къ ней, — изгибы происходили на спинную сторону. Но такъ какъ стебли нерѣдко бываютъ закручены и закручиваніе достигаетъ 90°, то случалось, что и къ оси направленные изгибы приходились на спинную же сторону. Поэтому можетъ

возникнуть предположеніе, что въ образованіи изгибовъ существенное значеніе принадлежитъ автономной нутаціи. Чтобы, по возможности, устранить содѣйствіе ея образованію изгибовъ, я въ послѣдующихъ опытахъ направлялъ проростки брюшной стороной къ оси. Такимъ образомъ нутація могла оказывать только сопротивленіе изгибамъ, (если стебли не закручивались на 180°, что случается очень рѣдко).

Семидневные проростки настурціи (опытъ 129), помѣщенные на ось клиностата подъ угломъ въ 55° и обращенные къ ней брюшной стороной (при чемъ остальныя условія были тѣ же, что и въ предыдущихъ опытахъ), черезъ 22 часа въ большинствѣ образовали изгибы въ сторону оси: изъ 11 стеблей 6 изогнулись на брюшную сторону, т. е., несмотря на противодѣйствіе нутаціи, подчинились вліянію геотропизма; два — нѣсколько уклонились отъ этого направленія, они были изогнуты въ плоскости, наклоненной къ оси подъ угломъ въ 25°, но эти стебли были закручены на соотвѣтствующій уголъ именно въ ту сторону, куда концы ихъ оказались отклоненными отъ направленія оси. Когда именно произошло закручиваніе, до образованія изгиба или послѣ, я не могу указать, но при помѣщеніи культуры на клиностатъ оно не было замѣчено. Одинъ стебель остался прямымъ; два послѣдніе — имѣли изгибы въ плоскости, наклоненной къ оси на 55°, на боковую сторону (табл. I, рис. 7).

Опытъ 129. Tropaeolum majus. *(Табл. I, рис. 7)*

(На клиностатѣ подъ угломъ 55° къ оси. Температура во время опыта колебалась отъ 19° до 25°).

14/III. Размоченныя, нестерилизованныя сѣмена посажены въ песокъ (стерилизованный). Чрезъ колокола ежедневно по 5 час. пропускается уличный воздухъ.

20/III. Проростки пересажены въ двѣ никкелевыя корзиночки съ трубками, оріентированы такимъ образомъ, чтобы срединныя плоскости были у всѣхъ параллельны между собой.

21/III. Въ 4 ч. дня одна культура помѣщена на клиностатъ; проростки направлены подъ угломъ 55° къ оси и наклонены къ ней брюшной стороной. Клиностатъ тотчасъ приведенъ въ движеніе. Скорость — одинъ оборотъ въ 33 мин.
Вторая культура поставлена нѣсколько наклонно внутри того же (14-литроваго) колокола. Введено 3 сс. $^1/_2$ % смѣси этилена съ воздухомъ.

22/III. *Опытъ оконченъ.* На клиностатѣ: 6 проростковъ дали слабые изгибы (20°—40°) къ оси (на брюшную сторону); 2 изогнулись въ плоскости, наклоненной къ оси подъ угломъ 25°; 2 изогнулись въ плоскости, наклоненной къ оси подъ угломъ въ 55°, 1—остался прямымъ.
Неподвижные всѣ изогнулись въ ту сторону, куда были наклонены.

Слѣдующіе два опыта были сдѣланы снова надъ проростками гороха. Примѣнявшіеся для опытовъ стебли, довольно длинные и гибкіе, могли нѣсколько измѣнить свое направленіе, свѣшиваясь по тяжести, хотя нижняя часть ихъ и удерживалась въ положеніи стеклянными трубочками. Вообще это обстоятельство должно было оказывать очень малое вліяніе, если проростки подъ вліяніемъ этилена дѣйствительно становятся трансверсально геотропичными, но въ данномъ случаѣ оно могло имѣть значеніе. Въ этомъ опытѣ (135) предполагалось придать стеблямъ направленіе, близкое къ перпендикулярному относительно оси, вслѣдствіе чего всякій разъ, когда во время вращенія стебли проходили бы нижнюю часть пути, они могли направляться отвѣсно внизъ, а такъ какъ въ силу волнообразной нутаціи концы ихъ нѣсколько загнуты на спинную сторону, то они оказались бы наклоненными къ оси

уже въ противоположномъ направленіи, чѣмъ въ то время, когда они находились въ верхней части пути. Чтобы избѣжать этого, передъ началомъ вращенія, помѣщая культуру на клиностатъ, я привязалъ концы стеблей шерстяными нитками къ сѣткѣ (изъ алюминіевой проволоки), укрѣпленной неподвижно надъ культурой.

За 4 дня до помѣщенія на клиностатъ проростки были пересажены въ гипсовый вегетаціонный сосудъ (почти кубической формы). Культура была закрѣплена на особомъ станкѣ, который привинчивался къ вращающейся площадкѣ клиностата (находившейся въ вертикальномъ положеніи). Площадка станка, на которой помѣщалась культура, образуетъ съ его вертикальной частью уголъ въ 100°, такимъ образомъ стебли были наклонены къ оси вращенія подъ угломъ въ 80°. На противоположной площадкѣ станка въ качествѣ противовѣса былъ укрѣпленъ такой же гипсовый сосудъ, наполненный сырымъ пескомъ, какъ и тотъ, въ которомъ были посажены проростки. Равномѣрность вращенія оси была провѣрена и съ этой нагрузкой и оказалась болѣе чѣмъ удовлетворительной: въ среднемъ время одного оборота составляло 1960,8 с. (= 32 мин. 40,8 с.), средняя же разность временъ прохожденія верхней и нижней полуокружности равнялась 12,8 сек., что составляетъ приблизительно 0,7%.

Уже на другой день на клиностатѣ появились изгибы, а черезъ четыре дня, когда опытъ былъ оконченъ, оказалось, что изъ 10 стеблей 7 изогнулись къ оси вращенія въ ту сторону, куда были наклонены, 2 въ противоположномъ направленіи, 1 остался прямымъ и почти не выросъ.

Опытъ 135. Горохъ. *(Табл. I, рис. 8)*

(На клиностатѣ по угломъ 80° къ оси. Температура 16°—20°).

4/XII. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Черезъ колокола ежедневно пропускается уличный воздухъ по 5 часовъ.

9/XII. Проростки пересажены въ 2 гипсовые сосуда съ трубками и въ 2 никкелевыя корзиночки съ трубками, вездѣ оріентированы одинаково. Культуры помѣщены подъ 2-литровыми колоколами, черезъ которые ежедневно по 1 часу пропускается уличный воздухъ.

13/III. Въ 1 ч. 45 м. одна культура въ гипсовомъ ящикѣ помѣщена на ось клиностата на цинковомъ станкѣ; проростки (недалеко отъ вершины) привязаны шерстинками къ сѣткѣ изъ алюминіевой проволоки; они направлены подъ угломъ 80° къ оси вращенія и обращены къ ней брюшной стороной. Клиностатъ тотчасъ приведенъ въ движеніе (одинъ оборотъ въ 32 мин. 41 сек.).
Другая культура (въ никкелевой корзиночкѣ) поставлена внутри того же колокола (вмѣстимостью 14 литровъ). Черезъ колоколъ пропускался уличный воздухъ до 4 ч. Въ $4^1/_2$ ч. введено $2^1/_2$ сс. $^1/_2$ % смѣси этилена съ воздухомъ.

14/III. На клиностатѣ 2 проростка начали изгибаться къ оси. Неподвижные еще не всѣ образовали изгибы. Введено $2^1/_2$ сс. $^1/_2$ % смѣси послѣ 10 мин. продуванія.

15/III. Ростъ очень слабый. Изогнулись не всѣ. Введено 2 сс. $^1/_2$ % смѣси послѣ 10 мин. продуванія.

16/III. Введено то же количество этилена послѣ 10 мин. продуванія.

17/III. *Опытъ оконченъ.* На клиностатѣ: 7 проростковъ изогнулись къ оси, въ ту сторону, куда были наклонены, 2—въ обратномъ направленіи, 1—не изогнулся (росъ очень медленно).
Неподвижные — изогнулись въ разныя стороны.

При повтореніи опыта въ совершенно тожественныхъ условіяхъ (опытъ 137) 5 стеблей изогнулись къ оси, въ ту сторону, куда были наклонены, 3 — въ обрат-

Опытъ 137. Горохъ.

(На клиностатѣ подъ угломъ 80° къ оси. Температура 18°—24°).

11/XII. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Черезъ колокола пропускается уличный воздухъ ежедневно по 1 часу.

17/XII. Проростки пересажены по 12 шт. въ 2 гипсовыхъ сосуда съ трубками. Колокола продувались по 2 часа.

18/XII. Одна культура помѣщена на клиностатъ въ цинковомъ станкѣ (все, какъ въ оп. 135-мъ), затѣмъ была приведена въ вертикальное положеніе; другая культура поставлена внутри того же колокола (вмѣстимостью въ 14 литр.); въ теченіе 3/4 часа черезъ колоколъ пропускался сильный токъ уличнаго воздуха. Послѣ этого ось была направлена горизонтально и клиностатъ приведенъ въ движеніе. Въ колоколъ введено 2 cc. 1/2 % смѣси этилена съ воздухомъ.

19/XII. На клиностатѣ изгибовъ нѣтъ, неподвижные начали изгибаться. Введено то же количество этилена послѣ 10 мин. продуванія.

20/XII. Ростъ слабый. На клиностатѣ только одинъ началъ изгибаться. Введено 2 cc. 1/2 % смѣси послѣ 20 мин. продуванія.

21/XII. На клиностатѣ начали изгибаться 5 стеблей. Введено 1 1/2 cc. той же смѣси послѣ 10 мин. продуванія.

22/XII. Концы стеблей сильно утолщены. Культура была снята съ клиностата, опущена на нѣсколько минутъ въ воду и затѣмъ снова помѣщена на клиностатъ въ прежнемъ положеніи. Въ колоколъ послѣ 5 мин. продуванія введенъ 1 cc. 1/2 % смѣси.

23/XII. *Опытъ оконченъ.* На клиностатѣ: 5 проростковъ изогнуты къ оси, въ ту сторону, куда были наклонены, 3—въ обратномъ направленіи, 4 остались прямыми. Концы очень сильно утолщены.
Неподвижные всѣ изогнулись въ разныя стороны.

номъ направленіи, 4 остались прямыми. Стебли почему то росли очень медленно, и концы ихъ были сильно утолщены, хотя количество вводившагося этилена было даже нѣсколько меньше. Почему въ этомъ опытѣ ростъ былъ медленнѣе и этиленъ дѣйствовалъ какъ будто сильнѣе, чѣмъ въ предыдущемъ, я не могъ опредѣлить. Единственное различіе состояло въ томъ, что, по необходимости, были взяты сѣмена другого сорта, но пока проростки находились въ чистомъ воздухѣ, они росли такъ же хорошо, какъ и примѣнявшіеся прежде. Все же полученный результатъ не противорѣчитъ остальнымъ, такъ какъ большинство изогнувшихся проростковъ направилось по оси вращенія въ ту сторону, куда они были наклонены.

Сопоставляя результаты всѣхъ опытовъ, какъ это сдѣлано въ приведенной (на стр. 74) таблицѣ, мы видимъ, что въ общемъ весьма значительное большинство проростковъ изогнулось къ оси вращенія и именно въ ту сторону, куда они были наклонены. Такихъ стеблей было 66. Слѣдующее мѣсто по количеству (19) занимаютъ тѣ, у которыхъ изгибы также обращены къ оси, но произошли въ плоскости, болѣе наклонной къ ней, чѣмъ были наклонены стебли, вслѣдствіе чего концы ихъ направились подъ угломъ около 45° относительно вертикальной плоскости, проведенной черезъ ось и нижнюю часть стебля. Многіе изъ этихъ проростковъ были закручены именно въ ту сторону, куда концы стеблей отклонились отъ направленія оси. Возможно, что закручиваніе происходило во время образованія изгиба, вслѣдствіе чего концы стеблей и уклонились отъ того направленія, которое они должны были бы принять подъ вліяніемъ геотропизма. Перпендикулярно къ плоскости, проведенной черезъ ось и основаніе стебля направились концы 9 проростковъ. Быть можетъ, въ этихъ случаяхъ закручиваніе стеблей также играло роль.

Обзоръ результатовъ.

Особеннаго вниманія заслуживаетъ то, что если стебли въ первый разъ изгибались не въ сторону оси, то иногда они давали второй изгибъ, которымъ и направлялись парал-

Результаты опытовъ надъ вліяніемъ вращенія на клиностатѣ въ воздухѣ съ примѣсью этилена на проростки, направленные подъ угломъ къ горизонтальной оси.

		Горохъ.		Tropaeolum majus.							Горохъ.		Всего.
№№ опытовъ		94	111	114	118	119	123	124	128	129	135	137	
Условія	Въ какомъ возрастѣ проростки были помѣщены на клиностатъ	8 дней	6 дней	9 дней	7 дней	7 дней	9 дней	7 дней	9 дней	7 дней	9 дней	6 дней	
	Какой стороной обращены къ оси	Большинство брюшной.	Б	о	к	о	в	о	й.	Б р	ю ш н	о й.	
	Подъ какимъ угломъ съ осью	Около 90°	45°	68°	68°	68°	68°	68°	35°	55°	80°	80°	
	Въ какое время совершался одинъ оборотъ оси	33 м.	31 м. 19 с.	31 м. 19 с.	16 м. 25 с.	16 м. 25 с.	33 м.	33 м.	33 м.	33 м.	32 м. 41 с.	32 м. 41 с.	
	Сколько времени проростки вращались на клиностатѣ въ воздухѣ съ примѣсью этилена	3 дня	6 дней	2 дня	4 дня	1 день	5 дней	2 дня	$27^3/_4$ ч.	22 ч.	4 дня	5 дней	
Результаты	Изогнулись къ оси, въ ту сторону, куда были наклонены	10	5	8	8	4	4	9		6	7	5	66
	Направились подъ угломъ около 45° къ плоскости, проходящей черезъ ось и нижнюю часть стебля		3		2	1	1		10	2			19
	Направились подъ прямымъ угломъ къ плоскости, проходящей черезъ ось и нижнюю часть стебля	1		2		2	2			2			9
	Изогнулись въ сторону, противоположную той, куда были наклонены.			1	1	2	2				2	3	11
	Не дали изгибовъ		3			2	2	2		1	1	4	15

лельно оси: здѣсь геотропическое раздраженіе не было устранено первымъ изгибомъ, поэтому концы стеблей и изгибались вновь. Въ плоскости, проходящей черезъ ось и нижнюю часть стебля, но въ сторону, противоположную той, куда онъ былъ наклоненъ, образовались изгибы у 11 проростковъ. Остались прямыми 15 стеблей; большинство изъ нихъ рано отмерли или росли слишкомъ медленно, но были среди нихъ и такіе, которые не только не отставали въ скорости роста отъ остальныхъ, но даже превосходили ихъ.

Въ общемъ, и при строгой оцѣнкѣ, если признавать за положительный результатъ образованіе изгибовъ только по направленію оси въ ту сторону, куда стебли были наклонены, все же мы видимъ, что группа проростковъ, давшихъ такіе изгибы, по численности далеко превосходитъ каждую изъ остальныхъ и даже оказывается больше всѣхъ ихъ, вмѣстѣ взятыхъ. Отсюда, я полагаю, можно заключить, что стебли изслѣдованныхъ растеній подвергнутые вліянію этилена, вращаемые на клиностатѣ и направленные подъ угломъ къ его горизонтальной оси, реагируютъ на возникающее въ этихъ условіяхъ перемѣнное воздѣйствіе силы тяжести такъ, какъ этого должно ожидать отъ трансверсально геотропичныхъ органовъ. При этомъ слѣдуетъ отмѣтить, что по формѣ изгибы, образующіеся на клиностатѣ, совершенно одинаковы съ тѣми, которые получаются и у вертикально направленныхъ стеблей подъ вліяніемъ этилена.

Гл. V. Къ вопросу о взаимодѣйствіи геотропизма и геліотропизма въ лабораторномъ воздухѣ.

1. Литературныя данныя.

Еще Wiesner при изученіи явленій геліотропизма обратилъ вниманіе на то, что даже и при самомъ слабомъ одностороннемъ освѣщеніи стебли вики направляются къ источнику свѣта совершенно горизонтально, если онъ находится на одномъ уровнѣ съ ними[1]). У другихъ растеній это наблюдалось лишь на гораздо болѣе близкомъ разстояніи. Результатъ поразительный. Естественно было бы ожидать, что стебли примутъ нѣкоторое среднее положеніе соотвѣтственно равнодѣйствующей двухъ вліяній: свѣта и силы тяжести, но эта равнодѣйствующая, разумѣется, не можетъ совпадать съ направленіемъ одной изъ силъ. Въ данномъ же случаѣ, принявъ горизонтальное направленіе, параллельное падающимъ лучамъ, стебли уже болѣе не испытывали односторонняго воздѣйствія свѣта, тогда какъ геотропическое раздраженіе при этихъ условіяхъ должно было бы достигать наибольшей силы (если стебли оставались параллелотропными), и тѣмъ не менѣе проростки не реа-

1) Wiesner, J. Die heliotrop. Erscheinungen im Pflanzenreiche. Denkschr. d. k. Akad. d. Wiss. in Wien. Math.-nat. Cl. Bd. 39. I Abth., p. 195. 1879.

гировали на него. Отсюда можно сдѣлать только одинъ выводъ, а именно, что геліотропическое раздраженіе уничтожаетъ чувствительность къ силѣ тяжести. Wiesner и утверждалъ это, но почему то на основаніи результатовъ другихъ опытовъ: онъ нашелъ, что проростки (на извѣстномъ разстояніи отъ источника свѣта) изгибаются съ одинаковой скоростью, независимо отъ того, остаются ли они въ вертикальномъ положеніи неподвижно или вращаются на клиностатѣ въ плоскости, перпендикулярной лучамъ.

Вопросъ о взаимодѣйствіи геотропизма и геліотропизма послѣ того не разъ подвергался обсужденію, но остается и до сихъ поръ нерѣшеннымъ. Болѣе детальныя изслѣдованія не только не разъяснили его, но еще внесли значительныя осложненія. Мнѣніе Wiesner'а, что геліотропическая индукція уничтожаетъ геотропическую, не подтвердилось, но факты, указанные имъ, не возбуждаютъ сомнѣній.

Въ опытахъ Wiesner'а надъ проростками вики наиболѣе слабое освѣщеніе было все же довольно интенсивно: источникомъ свѣта служила газовая лампа въ 6,5 WK[1]) на разстояніи 11 метровъ. Однако другія растенія и при болѣе сильномъ освѣщеніи не только не направлялись горизонтально, но даже и совсѣмъ не реагировали: такъ проростки подсолнечника на разстояніи отъ 9 до 6 метровъ отъ того же источника свѣта на давали изгибовъ.

Необычайная чувствительность вики обнаружилась въ слѣдующемъ опытѣ. Wiesner осуществилъ мысль Payer, примѣнивъ проростки въ качествѣ фотометра. Двѣ газовыя горѣлки равной силы (5,5 NK)[2]) были установлены на разстояніи 3 метровъ одна отъ другой. Точно на срединѣ между ними помѣщались проростки вики. Оказалось, что всѣ они и постоянно (опытъ былъ повторенъ нѣсколько разъ) давали изгибы только къ одной изъ горѣлокъ и нужно было передвинуть ихъ на 4—6 мм. къ другой, чтобы свѣтъ болѣе не оказывалъ односторонняго направляющаго воздѣйствія.

Почему то для этого опыта сила свѣта горѣлокъ была опредѣлена неособенно точно: ошибка могла достигать, по указанію Wiesner'а, 0,15 свѣчи. Но другія растенія не реагировали на различіе въ силѣ свѣта этихъ двухъ источниковъ; болѣе того: если проростки Phaseolus multiflorus перемѣщались даже на 15 сант. отъ средняго положенія, то и въ такомъ случаѣ разность освѣщенія была недостаточно велика, чтобы вызвать у нихъ образованіе геліотропическихъ изгибовъ. Только вика проявила столь высокую чувствительность. Благодаря этому свойству она и сдѣлалась излюбленнымъ объектомъ для геліотропическихъ опытовъ.

Однако, если вѣрны заключенія, къ которымъ приводятъ описанные выше мои опыты относительно вліянія лабораторнаго воздуха на геотропическія свойства проростковъ вики и другихъ растеній, то результаты, полученные Wiesner'омъ, должны быть истолкованы не какъ доказательство чрезвычайно высокой геліотропической чувствительности вики или

1) Спермацетовая свѣча (WK) по силѣ свѣта соотвѣтствуетъ приблизительно амилъ-ацетатовой лампѣ Гефнера (HK).

2) О значеніи «NK» будетъ сказано далѣе; въ данномъ случаѣ, вѣроятно, NK = WK.

уничтоженія геотропической чувствительности одностороннимъ воздѣйствіемъ свѣта, но совершенно иначе. Опыты Wiesner'а велись въ помѣщеніи, воздухъ котораго, несомнѣнно, содержалъ свѣтильный газъ; стебли вики, становясь въ этихъ условіяхъ трансверсально геотропичными, уже сами по себѣ стремились принять горизонтальное положеніе и находились въ состояніи неустойчиваго равновѣсія, одностороннее же дѣйствіе свѣта служило только толчкомъ, опредѣляя направленіе изгиба. Поэтому другія растенія (напр., подсолнечникъ и Phaseolus multiflorus), у которыхъ тѣ малыя дозы свѣтильнаго газа, въ какихъ онъ содержится въ лабораторномъ воздухѣ, не вызываютъ стремленія къ горизонтальному росту, и не обнаружили такой высокой чувствительности, какъ вика.

Повидимому, подобные же изгибы описалъ и Molisch, считая ихъ однако также геліотропическими. Въ 1902 году онъ напечаталъ короткую замѣтку о геліотропизмѣ въ бактеріальномъ свѣтѣ[1]). Объектомъ описанныхъ въ ней опытовъ, въ качествѣ особенно чувствительнаго растенія была выбрана вика[2]), но кромѣ нея были примѣнены также проростки кресса, мака, подсолнечника, гороха и спорангіеносцы Phycomyces nitens и Xylaria Hypoxylon. Изъ числа растеній, пригодныхъ для этихъ опытовъ, на первомъ мѣстѣ Molisch ставитъ чечевицу, вику и горохъ[3]). Источникомъ свѣта служила пробирка съ культурой свѣтящихся бактерій на мясо-пептонъ-желатинѣ, помѣщавшаяся передъ проростками. Лучше всего удавались опыты, когда она находилась на уровнѣ растущей зоны стеблей въ горизонтальномъ положеніи. Вика и горохъ, повидимому, реагировали на бóльшемъ разстояніи отъ пробирки, чѣмъ другія растенія. Опредѣленныхъ указаній относительно вики и гороха въ статьѣ не имѣется, лишь при общемъ описаніи опытовъ упомянуто, что разстояніе отъ источника свѣта до проростковъ было различное, въ предѣлахъ отъ 1 до 10 сантиметровъ.

Проростки подсолнечника не обнаружили чувствительности къ бактеріальному свѣту: они росли совершенно прямо (въ теченіе 5 дней), проростки же мака давали изгибы, если они были удалены отъ пробирки не болѣе, чѣмъ на 3 см., тогда какъ крессъ — только на разстояніи 1 — 2 см., и это обстоятельство заслуживаетъ особеннаго вниманія, такъ какъ по опытамъ Figdor'а крессъ обнаруживаетъ гораздо бóльшую геліотропическую чувствительность, чѣмъ вика, въ данномъ же случаѣ онъ реагировалъ значительно слабѣе ея[4]). Вика и горохъ особенно чувствительны къ вліянію свѣтильнаго газа, — и здѣсь они дали наилучшіе изгибы. Подсолнечникъ не измѣняетъ своего направленія въ лабораторномъ воздухѣ, — и въ этихъ опытахъ онъ вовсе не реагировалъ. Можно было бы предположить, что это только совпаденіе, такъ какъ въ разсматриваемой статьѣ упоминается, что «опыты

1) Molisch, H. Ueber Heliotropismus im Bakterienlichte. Sitzungsber. d. k. Ak. d. Wiss. in Wien. Bd. 111. Abth. I, p. 141. 1902.

2) Ссылаясь на «фотометрическій» опытъ Wiesner'а, Molisch указываетъ, что вика способна уловить такое различіе въ освѣщеніи, которое ускользаетъ отъ человѣческаго глаза (вездѣ подразумѣвается Vicia sativa).

3) l. c., p. 146.

4) Figdor, W. Versuche über die heliatrop. Empfindlichkeit d. Pflanzen. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. in Wien. Bd. 102. Abth. I, p. 45. 1893. Макъ въ опытахъ Figdor'а давалъ изгибы на разстояніи вдвое большемъ, чѣмъ вика.

велись въ такомъ помѣщеніи, воздухъ котораго не содержалъ примѣси свѣтильнаго газа, такъ какъ подъ вліяніемъ его проростки (гороха, чечевицы и вики) образуютъ изгибы, нарушающіе опредѣленность результатовъ»[1]). Однако по поводу этого указанія ссылки на какіе-либо опыты, свои или чужіе, не сдѣлано. Было ли установлено отсутствіе примѣси газа путемъ анализа воздуха, или въ помѣщеніе не былъ проведенъ газъ, и потому онъ не долженъ былъ содержаться въ воздухѣ,—не сказано. Однако въ книгѣ «Leuchtende Pflanzen», вышедшей черезъ 2 года[2]), въ главѣ о геліотропизмѣ въ бактеріальномъ свѣтѣ, гдѣ описаны эти же самые опыты и гдѣ Molisch упоминаетъ (съ соотвѣтствующими ссылками) о вліяніи минимальной примѣси свѣтильнаго газа на ростъ и направленіе стеблей, — уже отмѣчается, что въ лабораторномъ воздухѣ геліотропическіе опыты удаются особенно хорошо, въ чистомъ же воздухѣ оранжереи — гораздо хуже и что описанные опыты велись въ помѣщеніи лабораторіи. Были ли проростки изолированы отъ вліянія лабораторнаго воздуха, не сказано, но фотографическій снимокъ, воспроизведенный въ этой книгѣ (по характерному виду проростковъ) не оставляетъ сомнѣнія въ томъ, что они подвергались вліянію свѣтильнаго газа или веществъ, оказывающихъ такое же дѣйствіе[3]). Здѣсь же Molisch высказываетъ въ весьма осторожной формѣ свое мнѣніе о вліяніи примѣсей лабораторнаго воздуха на геотропизмъ и геліотропизмъ. Онъ полагаетъ, что «отрицательный геотропизмъ подъ вліяніемъ примѣсей воздуха, повидимому, какъ бы угасаетъ и, такъ какъ онъ уже не оказываетъ противодѣйствія геліотропизму, то этотъ послѣдній и проявляется въ бóльшей чистотѣ»[4]). Опытовъ въ доказательство этого утвержденія не приводится. Наоборотъ, основываясь на этотъ положеніи, Молишъ объясняетъ полученные имъ лучшіе результаты геліотропическихъ опытовъ въ лабораторномъ воздухѣ[5]).

Въ разсмотрѣнной выше статьѣ Richards'a и MacDougal'a[6]) имѣется указаніе на то, что подъ вліяніемъ свѣтильнаго газа (какъ и окиси углерода) геліотропическая чувствительность не проявляется съ бóльшей силой, чѣмъ въ чистомъ воздухѣ, а наоборотъ ослабѣваетъ: проростки горчицы (подъ вліяніемъ CO) реагировали слабо или вовсе не давали изгибовъ[7]), также и въ газѣ направленіе стеблей не зависѣло отъ направленія падающихъ лучей, хотя ростъ и не останавливался[8]). Равнымъ образомъ въ этихъ условіяхъ обнару-

1) «Ich stellte die Versuche in einem Zimmer an, dessen Temperatur etwa zwischen 15 bis 18°C. schwankte und dessen Luft mit Leuchtgas nicht verunreinigt war, da dieses gewisse Keimlinge (Erbse, Linse, Wicke) zu verschiedenen störenden Krümmungen veranlasst» p. 143.

2) Molisch, H. Leuchtende Pflanzen. Jena, 1904, p. 144.

3) Кстати слѣдуетъ замѣтить, что изгибы образовались на спинную сторону.

4) «der negative Geotropismus scheint unter dem Einflusse der Luftverunreinigungen wie ausgelöscht, und, da er dem Heliotropismus nicht entgegen wirkt, kommt dieser in grösserer Reinheit zur Geltung» (l. c., p. 145).

5) «Die heliotropischen Versuche gelingen aus diesem Grunde in Laboratorium besonders schön, viel weniger gut in der reinen Luft eines Gewächshauses, weil der Geotropismus hier in voller Stärke entgegenzuarbeiten vermag» (p. 145).

6) Richards, H. M. and MacDougal, D. T. The influence of carbon monoxide and others gases upon plants. Bull. of the Torrey Bot. Club, vol. 31, p. 57. 1904.

7) «showed little or no curvature in response to phototropic stimulus».

8) «and in gas whatever developement took place was quite irrespective of the angle of the incideut rays».

живалась меньшая чувствительность и къ геотропическому раздраженію. Впрочемъ эти данныя относятся къ большимъ количествамъ газовъ.

Результаты, полученные Richards'омъ и MacDougal'омъ, повидимому, остались неизвѣстными Molisch'у, такъ какъ о нихъ не упоминается въ его статьѣ о геліотропизмѣ, косвенно вызываемомъ лучами радія (напечатанной въ слѣдущемъ году)[1]). Въ этомъ изслѣдованіи въ качествѣ источника свѣта примѣнялась фосфоресцирующая смѣсь цинковой обманки съ солью радія; объектомъ служили — проростки вики (Vicia sativa) чечевицы и подсолнечника, также спорангіеносцы Phycomyces nitens. Здѣсь уже опыты съ чечевицей, горохомъ и викой только и удавались въ лабораторномъ воздухѣ и притомъ надъ растеніями, перенесенными изъ оранжереи, въ самой же оранжереѣ стебли не давали геліотропическихъ изгибовъ къ трубочкѣ съ упомянутой смѣсью[2]). Проростки подсолнечника не реагировали, какъ и въ опытахъ съ бактеріальнымъ свѣтомъ. Проростки вики направлялись горизонтально къ трубочкѣ только на разстояніи 3 см., если же разстояніе увеличивалось до 7 см., то «war kein oder nur äusserst schwacher Heliotropismus zu beobachten». У чечевицы всѣ проростки изгибались къ источнику свѣта только на разстояніи 2 см.; если половина трубочки была обернута черной бумагой (въ три слоя), то геліотропическіе изгибы наблюдались только у тѣхъ проростковъ, которые находились передъ незакрытой частью ея. Относительно тѣхъ проростковъ, которые не давали геліотропической реакціи, авторъ не упоминаетъ, росли ли они совершенно прямо вверхъ или изгибались въ разныя стороны, но не къ трубкѣ. Только о спорангіеносцахъ Phycomyces nitens сказано, что они остались прямыми. Въ текстѣ воспроизведена фотографія проростковъ вики, но только изогнувшихся и росшихъ горизонтально. Судя по ихъ виду, воздухъ въ помѣщеніи, гдѣ производились опыты, долженъ былъ содержать сравнительно большое количество свѣтильнаго газа, но, вѣроятно, оно не было постояннымъ, такъ какъ концы двухъ стеблей (изъ шести) начали приподниматься кверху и были не такъ сильно утолщены, какъ горизонтальныя части. Поэтому, можно предполагать, что проростки, не направлявшіеся горизонтально къ источнику свѣта, росли извилисто, изгибаясь въ разныя стороны. Не имѣя опредѣленныхъ указаній относительно ихъ направленія, трудно судить о роли геліотропизма, такъ какъ, если содержаніе свѣтильнаго газа въ воздухѣ было настолько велико, что стебли уже сами по себѣ принимали горизонтальное положеніе, то дѣйствіемъ свѣта опредѣлялось только направленіе изгиба, въ противномъ же случаѣ надо признать, что геліотропизмъ содѣйствовалъ и самому образованію изгиба, что не противорѣчитъ, конечно, предположенію, что подъ вліяніемъ лабораторнаго воздуха геотропическія свойства стеблей измѣняются.

Въ этой работѣ Molisch высказываетъ уже вполнѣ опредѣленно свое мнѣніе о вліяніи газообразныхъ примѣсей лабораторнаго воздуха на тропистическія свойства проростковъ.

---

1) Molisch, H. Ueber Heliotropismus, indirekt hervorgerufen durch Radium. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges., Bd. 23, p. 1. 1905.

2) «Während die Versuche mit Linse, Erbse und Wicke in der Laboratoriumsluft sehr gut gelingen, versagen sie im Gewächshause gewöhnlich vollständig» (l. c., p. 7).

Онъ утверждаетъ, что въ силу этого вліянія стебли утрачиваютъ отрицательный геотропизмъ, но вмѣстѣ съ тѣмъ проявляютъ высокую геліотропическую чувствительность, и подчеркиваетъ это указаніе, обращая вниманіе физіологовъ на то, что здѣсь ничтожныя количества ядовитыхъ веществъ измѣняютъ или устраняютъ раздражимость по отношенію къ силѣ тяжести, не оказывая того же вліянія на отношеніе къ свѣту[1]). Непосредственно степень чувствительности къ тому и другому воздѣйствію опредѣлена не была. Мнѣніе Molisch'а было принято и нѣкоторыми другими изслѣдователями въ области тропизмовъ.

Въ томъ же году, нѣсколько позднѣе, была напечатана работа Körnicke[2]) надъ вліяніемъ на растенія лучей радія, въ которой описаны также и геліотропическіе опыты, но, какъ и у Molisch'а, изгибы стеблей вызывались здѣсь не самыми лучами радія, а свѣтомъ фосфоресценціи (исходившимъ отъ стеклянной трубочки, въ которой была заключена соль радія)[3]). Изгибы не всегда происходили. Körnicke считаетъ возможнымъ, что здѣсь было замѣшано дѣйствіе лабораторнаго воздуха, и ссылается на мнѣніе Molisch'а относительно вліянія его на геотропизмъ и геліотропизмъ, присоединяя однако такія соображенія, на основаніи которыхъ этому воздѣйствію слѣдуетъ придавать уже совершенно иное значеніе, чѣмъ представлялось Molisch'у.

Körnicke основывается на слѣдующемъ наблюденіи. Во многихъ случаяхъ свѣтъ радія не оказывалъ дѣйствія на спорангіеносцы Phycomyces. Реакція наблюдалась только въ такихъ культурахъ которыя росли очень медленно. По мнѣнію Körnicke, причину различнаго отношенія культуръ слѣдуетъ видѣть въ томъ, что быстро растущіе концы спорангіеносцевъ оставались слишкомъ короткое время на близкомъ разстояніи отъ источника свѣта, а затѣмъ скоро перерастали его, и такимъ образомъ они не успѣвали воспринять слабаго геліотропическаго раздраженія, тогда какъ для медленно растущихъ срокъ воздѣйствія лучей былъ достаточенъ. Послѣ того какъ появилась работа Molisch'а надъ вліяніемъ свѣта фосфоресценціи, вызываемой радіемъ, Körnicke повторилъ свои опыты, по его примѣру, и надъ проростками вики. Здѣсь случалось, что въ одной и той же культурѣ стебли

---

1) «Die Spuren von Leuchtgas und anderen Verunreinigungen flüchtiger Natur, die sich in der Luft des Laboratoriums vorfinden, genügen, um die Reizbarkeit des Plasmas so zu beeinflussen, dass die Stengel der genannten Kemlinge keinen negativen Geotropismus mehr zeigen. Mit Ausschalten des negativen Geotropismus stellt sich gleichzeitig eine so hochgradige heliotropische Empfindlichkeit ein, dass es unter diesen Umständen gelingt gewisse Pflanzen, noch zu heliotropischen Bewegungen zu veranlassen, die unter normalen Verhältnissen dazu nicht befähigt sind».

«Wir stehen — und dies verdient meiner Meinung nach die Aufmerksamkeit der Physiologen — hier vor dem interessanten Falle, dass eine Spur von Gift die Reizbarkeit gegenüber der Schwerkraft modifiziert oder geradezu aufhebt, ohne gleichzeitig die Reizbarkeit für das Licht in gleicher Weise zu beeinflussen» (l. c., 7—8). Едва ли я ошибаюсь, полагая, что Molisch имѣлъ въ виду утрату или ослабленіе геотропической чувствительности *вообще* и что подъ словомъ «modifiziert» подразумѣвается количественное измѣненіе, а не превращеніе отрицательнаго геотропизма въ трансверсальный.

2) Körnicke, M. Weitere Untersuchungen über die Wirkung von Röntgen- und Radiumstrahlen auf die Pflanzen. Ber. d. Deustch. Bot. Ges. Bd. 23, p. 324. 1905.

3) Körnicke изслѣдовалъ вліяніе не только лучей радія, но также и рентгеновскихъ. О полученныхъ результатахъ онъ сообщалъ въ нѣсколькихъ статьяхъ, изъ которыхъ только въ одной, цитированной, онъ касается вопроса о геотропизмѣ; въ описанныхъ опытахъ источникомъ свѣта служилъ препаратъ радія; рентгеновскіе лучи не примѣнялись; впрочемъ, какъ извѣстно, въ числѣ лучей, испускаемыхъ радіемъ, находятся и рентгеновскіе.

росли не одинаково: одни очень медленно — и только эти и давали изгибы, направляясь къ трубочкѣ, содержавшей соль радія, и принимая совершенно горизонтальное положеніе, другіе же—росли быстро и оставались прямыми. Это обстоятельство и убѣдило автора въ томъ, что наиболѣе важное значеніе имѣетъ достаточная продолжительность геліотропической индукціи. Отсюда слѣдуетъ, что вліяніе лабораторнаго воздуха сводится только къ замедленію роста, чѣмъ и создаются условія для достаточно продолжительнаго пребыванія способной къ изгибу зоны стебля на близкомъ разстояніи отъ источника свѣта.

Какова была дѣйствительная причина образованія изгибовъ въ опытахъ Körnicke,—трудно рѣшить, такъ какъ неизвѣстно, насколько велико было содержаніе свѣтильнаго газа въ воздухѣ, окружавшемъ проростки. Правда, авторъ вполнѣ опредѣленно указываетъ, что и медленно растущіе стебли не давали изгибовъ, если трубочка съ солью радія была обернута черной бумагой. Но весьма возможно, что количество свѣтильнаго газа въ воздухѣ было не постоянно (вѣдь, и къ открытой трубочкѣ стебли не всегда изгибались) и что изгибы отсутствовали, когда оно было слишкомъ мало или слишкомъ велико. Впрочемъ, такъ какъ примѣнялся препаратъ радія большой силы, то возможно что Körnicke наблюдалъ и чисто геліотропическіе изгибы, и что, слѣдовательно, свѣтильный газъ содержался въ воздухѣ только въ такомъ количествѣ, въ какомъ онъ задерживаетъ ростъ стеблей, не измѣняя ихъ геотропическихъ свойствъ. Эти соображенія относятся только къ проросткамъ вики. Оказываетъ ли свѣтильный газъ такое же вліяніе и на спорангіеносцы Phycomyces, мнѣ не извѣстно.

Въ 1906 году появилась работа Oswald'a Richter'a, спеціально изслѣдовавшаго вліяніе лабораторнаго воздуха на геліотропизмъ и геотропизмъ [1]). На основаніи полученныхъ результатовъ онъ, какъ и Molisch, пришелъ къ заключенію, что подъ вліяніемъ лабораторнаго воздуха геліотропическая чувствительность въ высшей степени обостряется, тогда какъ геотропическая — ослабѣваетъ.

Дѣйствительно, растенія въ его опытахъ реагировали въ лабораторномъ воздухѣ на крайне слабое одностороннее освѣщеніе. Объектомъ служили проростки Vicia sativa, Vicia villosa и гороха. Въ опытѣ, который названъ основнымъ (l. c., p. 274, 337), въ качествѣ источника свѣта была примѣнена, по примѣру Figdor'a [2]), маленькая газовая горѣлка, употребляемая для нагрѣванія водяного термостата (Mikrobrenner). Сила свѣта ея пламени была опредѣлена по фотометру Бунзена въ 0,00451 нормальной свѣчи (NK). Проростки помѣщались на разстояніи 153 см. отъ нея [3]). Всего было четыре культуры: двѣ—Vicia sativa и двѣ—

1) Richter, Oswald. Ueber d. Einfluss verunreinigter Luft auf Heliotropismus und Geotropismus. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. in Wien. Bd. 115. Abt. I, p. 265. 1906.

2) Figdor, W. Versuche über d. heliotropische Empfindlichkeit d. Pflanzen. Sitzungsb. d. k. Ak. d. Wiss. in Wien. Bd. 102. Atth. I, p. 47. 1893.

3) На основаніи этихъ данныхъ Osw. Richter опредѣляетъ напряженность свѣта, вызывающую геліотропическое раздраженіе, т. е. имѣющуюся у самой поверхности стеблей, въ $\frac{0.00451}{153^2} = 0.00000019$ NK. Здѣсь въ сущности имѣется въ виду яркость освѣщенія поверхности стеблей. Въ физикѣ же за единицу принимается такое освѣщеніе, которое даетъ источникъ свѣта силою въ 1 единицу (т. е. въ настоящее время амильацетатовая лампа Гефнеръ - Альтенека, обозначаемая НК = Hefnerkerze) на разстояніи одного метра. Слѣдовательно, чтобы опредѣлить степень освѣщенія въ

Vicia villosa. Сѣмена проращивались въ оранжереѣ. Когда стебли достигли длины $1\frac{1}{2}$—2 см., то двѣ культуры (по одной каждаго вида) были накрыты большими стеклянными банками, края которыхъ были погружены въ воду. Такимъ образомъ эти культуры и во время опыта (производившагося въ помѣщеніи лабораторіи) находились въ чистомъ (оранжерейномъ), воздухѣ. Двѣ другія культуры были также накрыты банками, но не были изолированы слоемъ воды отъ лабораторнаго воздуха. Черезъ два дня проростки Vicia sativa, находившіеся въ лабораторномъ воздухѣ, оказались изогнувшимися къ источнику свѣта почти подъ прямымъ угломъ (въ среднемъ на 88,3°), проростки V. villosa изогнулись нѣсколько слабѣе (въ среднемъ на 67,3°), тогда какъ въ чистомъ воздухѣ стебли Vicia sativa наклонились къ свѣту всего на 21°—22°, а Vicia villosa росли прямо. При этомъ въ лабораторномъ воздухѣ концы стеблей были гораздо короче и толще, чѣмъ въ чистомъ.

Въ другомъ опытѣ, въ которомъ (какъ это было ранѣе сдѣлано Wiesner'омъ) растенія были примѣнены въ качествѣ фотометра, — они обнаружили еще большую чувствительность, Два слабыхъ источника свѣта (горѣлки Mikrobrenner) были расположены на разстояніи 61 см. одинъ отъ другого. Посредствомъ Бунзеновскаго фотометра было опредѣлено между ними мѣсто, въ которомъ они давали равное освѣщеніе. Въ найденной точкѣ перпендикулярно къ линіи, соединяющей оба источника свѣта, была проведена мѣломъ черта. По этой чертѣ были установлены 2 пары культуръ V. sativa и V. villosa, снаряженныя, какъ въ предыдущемъ опытѣ. На другой день обѣ культуры (V. sativa и V. villosa), находившіяся въ лабораторномъ воздухѣ дали крутые изгибы къ одной изъ горѣлокъ (V. sativa въ среднемъ подъ угломъ 54,7°, V. villosa — 38,8°); въ ту же сторону слабо изогнулись проростки V. sativa, находившіеся въ чистомъ воздухѣ (отъ 5° до 30°), стебли же V. villosa въ чистомъ воздухѣ росли совершенно прямо. Силу свѣта горѣлокъ Osw. Richter опредѣлилъ (послѣ опыта) въ 0.005029 NK и 0.00309 NK. Вычисленіе показываетъ, что проростки освѣщались съ противоположныхъ сторонъ неодинаково, но разница въ освѣщеніи, вызвавшая реакцію, измѣрялась всего тысячными долями МК.

Въ расчетахъ Osw. Richter'а, относящихся къ опредѣленію силы свѣта, дѣйствовавшаго на проростки съ противоположныхъ сторонъ, есть нѣкоторыя неясности и противорѣчія. Разстояніе между источникомъ свѣта (къ которому изогнулись проростки) и срединой черты, по которой были расположены культуры, здѣсь (стр. 283) онъ почему то считаетъ нужнымъ вычислять, принимая его равнымъ $\sqrt{37^2 - 14{,}5^2}$, что составляетъ 34 см., тогда

данной точкѣ, нужно силу свѣта источника раздѣлить на квадратъ разстоянія, выраженнаго въ метрахъ: Lux освѣщеніе, Meterkerze) $= \frac{J}{r^2}$, гдѣ J — сила свѣта источника, r — разстояніе (Winkelmann. Handbuch der Physik. Bd. VI, p. 756). Osw. Richter за единицу принималъ освѣщеніе на разстояніи 1 см. отъ эталона; поэтому вычисленная имъ интенсивность должна быть увеличена въ $100^2=10000$ разъ, т. е. освѣщеніе проростковъ равнялось 0.0019 МК (но по отношенію къ эталону, употреблявшемуся Osw. Richter'омъ — NK; о томъ, къ какой единицѣ свѣта можетъ относится обозначеніе NK, будетъ сказано далѣе).

Эту ошибку Osw. Richter'а указалъ Guttenberg («Ueber das Zusammenwirken von Geotr. und Heliotrop. in parallelotropen Pflanzenteilen» Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 45, p. 206. 1907), и впослѣдствіи Osw. Richter призналъ невѣрность своихъ расчетовъ (Osw. Richter. Ueber das Zusammenwirken von Heliotrop. und Geotrop. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 46, p. 485. 1909).

какъ выше (стр. 282) было указано, что черта отстояла отъ одной лампы на 35 см., отъ другой — на 26 см. Къ чему относятся цифры 37 и 14·5, — не указано. По данному разстоянію и силѣ источника свѣта въ 0.005029 NK Osw. Richter опредѣляетъ интенсивность освѣщенія проростковъ въ $\frac{0.005029}{34^2} = 0.00000434$ NK; (эта цифра, какъ выше было указано, должна быть увеличена въ 10000 разъ, т. е. освѣщеніе по этому расчету равняется 0.0434 MK). Интенсивность освѣщенія съ противоположной стороны Osw. Richter считаетъ равной 0.00000411 NK (0.0411 MK). Сила источника свѣта были опредѣлена въ 0.00309 NK. Онъ могъ бы дать освѣщеніе указанной интенсивности въ томъ случаѣ, если бы черта, по которой были расположены культуры, находилась на разстояніи 27,4 см. отъ него. Но это разстояніе въ дѣйствительности было равно только 27 см., если отъ черты до перваго источника свѣта было 34 см., т. к. общее разстояніе отъ одного пламени до другого равнялось 61 см., а въ такомъ случаѣ освящение опредѣляется въ 0.0424 MK. Слѣдовательно, разница въ освѣщеніи проростковъ съ противоположныхъ сторонъ составляла 0.0010 MK, по расчету же автора 0.0023 MK (0.00000023 NK).

Если же принять, какъ это было указано авторомъ въ описаніи опыта, что горѣлки находились на разстояніи 35 см. и 26 см. отъ черты, то получится, что освѣщеніе отъ перваго источника, къ которому изогнулись стебли, было слабѣе, чѣмъ отъ второго: оно равняется 0.04105 MK, тогда какъ второй долженъ былъ давать 0.04577 MK. Едва ли можно сомнѣваться, что тотъ источникъ свѣта, къ которому были обращены изгибы, давалъ болѣе интенсивное освѣщеніе, чѣмъ находившійся съ противоположной стороны, но опредѣлить количественно разницу освѣщенія по даннымъ Osw. Richter'а не представляется возможнымъ. Стебли никогда не растутъ съ математической правильностью по отвѣсной линіи, поэтому и нельзя точно опредѣлить разстояніе ихъ отъ пламени, а въ данномъ случаѣ разница въ одинъ сантиметръ при расчетахъ можетъ уже дать обратное значеніе полученному результату. Очевидно, всѣ приведенные цифры не выражаютъ дѣйствительныхъ отношеній, что зависитъ, вѣроятно, также и отъ неточности фотометрическаго опредѣленія силы свѣта источниковъ, въ особенности, если въ качествѣ эталона употреблялась парафиновая свѣча.

Какъ бы то ни было, несомнѣнно одно, что въ этомъ опытѣ растенія, находившіяся въ лабораторномъ воздухѣ, реагировали весьма энергично на крайне слабое различіе въ освѣщеніи съ противоположныхъ сторонъ.

Такъ же чувствительна оказалась вика въ лабораторномъ воздухѣ и къ кратковременному освѣщенію сильнымъ свѣтомъ. Проростки, принесенные изъ оранжереи, были освѣщены въ теченіе 5 минутъ очень большой плоской горѣлкой, дававшей чрезвычайно сильный свѣтъ (въ 23.65 NK), на разстояніи приблизительно $1\frac{1}{4}$ метра (стебли V. villosa отстояли на 119 см. отъ пламени, V. sativa — на 130 см.). На другой день культуры, находившіяся въ лабораторномъ воздухѣ дали сильные изгибы по направленію къ горѣлкѣ; въ чистомъ воздухѣ стебли остались прямыми. Растенія вновь были освѣщены въ теченіе 5 минутъ.

Черезъ 22 часа опытъ былъ оконченъ. Прежніе изгибы усилились (у V. villosa они составляли въ среднемъ 47,4°, у V. sativa — 80,5°). Въ чистомъ воздухѣ стебли продолжали расти вертикально. Давали ли они въ первые часы послѣ индукціи преходящіе изгибы, которые впослѣдствіи изглаживались, авторъ не отмѣчаетъ. У проростковъ, находившихся въ лабораторномъ воздухѣ, изгибы, судя по фотографіи, фиксировались въ той части стебля, гдѣ они образовались послѣ первой экспозиціи: принявъ наклонное или горизонтальное положеніе, стебли продолжали такъ расти и въ темнотѣ.

O. Richter повторилъ опыты Molisch'а со свѣтящими бактеріями и также нашелъ, что въ лабораторномъ воздухѣ стебли вики реагируютъ весьма энергично, круто изгибаясь къ источнику свѣта (Vicia sativa подъ угломъ 90°, Vicia villosa — 70°), тогда какъ въ чистомъ воздухѣ они не давали доступныхъ измѣренію изгибовъ (но только «Spuren heliotropischer Krümmung»).

Аналогичный результатъ дали также опыты и надъ вліяніемъ свѣта фосфоресценціи, въ которыхъ источникомъ свѣта служили имѣющіяся въ продажѣ стеклянныя трубочки, наполненныя веществами, свѣтящимися въ теченіе долгаго времени, послѣ того какъ они были подвергнуты дѣйствію солнечныхъ лучей (а именно такія, которыя издаютъ голубой и фіолетовый свѣтъ). Разсматривать подробно эти опыты нѣтъ надобности, такъ какъ они ничего не прибавляютъ къ даннымъ Molisch'а и Körnicke.

Уничтоженіе геотропической чувствительности подъ вліяніемъ лабораторнаго воздуха при слабомъ освѣщеніи, доказывается, по мнѣнію Osw Richter'а, результатомъ слѣдующаго опыта.

Двѣ оранжерейныя культуры проростковъ гороха (стебли которыхъ имѣли въ длину 1½ см.), перенесенныя въ темную комнату лабораторіи, были приведены въ горизонтальное положеніе и затѣмъ въ теченіе 5 дней освѣщались снизу слабымъ свѣтомъ, причемъ одна изъ культуръ была изолирована отъ лабораторнаго воздуха. Всѣ стебли въ чистомъ воздухѣ направились почти вертикально вверхъ, какъ будто они совершенно не подвергались дѣйствію свѣта, тогда какъ въ лабораторномъ воздухѣ проростки дали крутые изгибы внизъ, направляясь къ источнику свѣта.

Что касается геотропическихъ свойствъ проростковъ, находящихся въ лабораторномъ воздухѣ въ темнотѣ, то полученные результаты привели автора къ заключенію, что отрицательный геотропизмъ проявляется тѣмъ слабѣе, чѣмъ болѣе чувствительно данное растеніе къ вліянію примѣсей воздуха. Въ томъ опытѣ, который описанъ съ нѣкоторыми подробностями, четыре смѣшанныя культуры Vicia sativa и Vicia villosa (въ каждой культурѣ по 7 проростковъ въ рядъ того и другого вида) попарно были помѣщены подъ двумя банками, въ чистомъ и въ лабораторномъ воздухѣ. При этомъ въ каждой банкѣ одна культура была направлена горизонтально, другая вертикально. Черезъ три дня опытъ былъ оконченъ. Въ лабораторномъ воздухѣ стебли, направленные горизонтально, изогнулись кверху у Vicia sativa въ среднемъ на 40°, у Vicia villosa—на 45,7°. Стоявшіе вертикально также дали изгибы, которые были оріентированы въ разныя стороны. Для этихъ проро-

стковъ углы не были измѣрены: судя по фотографіи у V. sativa стебли отклонились отъ вертикальнаго направленія на 35°—40°, у V. villosa — нѣсколько менѣе. Такимъ образомъ въ сущности въ обоихъ случаяхъ получились близкіе результаты: какъ тѣ, такъ и другіе проростки (т. е. и приведенные въ горизонтальное положеніе, и остававшіеся въ вертикальномъ положеніи) направились наклонно къ плоскости горизонта, но изгибы кверху авторъ считаетъ выраженіемъ отрицательнаго геотропизма, значеніе же изгибовъ изъ вертикальнаго направленія—не опредѣляетъ, вѣроятно, относя ихъ на счетъ автономной нутаціи. Авторъ упоминаетъ, что подобные же результаты были получены съ проростками V. Faba, V. Narbonensis и гороха, но первыя два растенія и въ лабораторномъ воздухѣ принимали направленіе болѣе близкое къ вертикальному, чѣмъ проростки гороха.

Обнаружившееся въ этихъ опытахъ стремленіе стеблей принять наклонное направленіе относительно горизонта можетъ быть объяснено только предположительно, такъ какъ авторъ не упоминаетъ о нѣкоторыхъ условіяхъ, и именно такихъ, по которымъ можно было бы судить о содержаніи свѣтильнаго газа въ воздухѣ, окружавшемъ проростки. Между тѣмъ въ виду обнаружившейся градаціи въ дѣйствіи различныхъ дозъ этилена (а также и лабораторнаго воздуха съ различнымъ содержаніемъ газа), о которой выше было упомянуто (ч. I, стр. 135), это обстоятельство въ данномъ случаѣ имѣетъ важное значеніе. Возможно, что газъ проникалъ въ воздухъ, окружавшій стебли во время опыта, именно въ такомъ количествѣ, при которомъ они принимаютъ наклонное направленіе.

Авторъ указываетъ, что культуры помѣщались «im dunklen Keimkasten» (l. c., p. 313); кромѣ того, онѣ еще въ оранжереѣ были прикрыты банками. Въ этихъ условіяхъ доступъ лабораторнаго воздуха въ культурамъ былъ затрудненъ. Къ тому же, возможно, что въ это время газъ въ темной комнатѣ не горѣлъ или горѣлъ въ значительно меньшемъ количествѣ, чѣмъ при опытахъ надъ геліотропизмомъ, и поэтому менѣе проникалъ въ воздухъ черезъ каучуковыя трубки, служившія для соединенія лампъ съ газопроводными кранами.

Такимъ образомъ результатъ разсмотрѣннаго опыта не противорѣчитъ мнѣнію, что подъ вліяніемъ лабораторнаго воздуха стебли становится трансверсально геотропичными. То же самое слѣдуетъ сказать и о геліотропическихъ опытахъ Osw. Richter'a, такъ какъ въ нихъ условія были таковы, что стебли должны были реагировать одинаково и на геотропическое, и на геліотропическое раздраженіе. Такъ какъ они сами по себѣ стремились (въ лабораторномъ воздухѣ) направиться горизонтально, то боковое освѣщеніе содѣйствовало образованію геотропическаго изгиба и вмѣстѣ съ тѣмъ опредѣляло направленіе, въ которомъ стебли должны были изогнуться (въ чемъ, быть можетъ, состояла главная роль свѣтового воздѣйствія). Только въ одномъ случаѣ направляющее дѣйствіе свѣта и силы тяжести не совпадали: это въ томъ опытѣ, гдѣ проростки, принесенные изъ оранжереѣ, были приведены въ горизонтальное положеніе и освѣщены снизу, причемъ одни находились въ чистомъ воздухѣ, другіе въ лабораторномъ, и эти послѣдніе изогнулись внизъ, къ источнику свѣта; они уклонились отъ положенія покоя, несмотря на то, что трансверсальный геотропизмъ долженъ былъ противодѣйствовать этому. Но если мы вспомнимъ, что, наклоненные книзу отъ

горизонтальнаго положенія, трансверсально геотропичные органы реагируютъ весьма слабо и медленно и что въ данномъ случаѣ они были обращены къ свѣту наиболѣе чувствительной — спинной — стороной, — то не покажется страннымъ, что вліяніе свѣта при содѣйствіи волнообразной нутаціи преодолѣло сопротивленіе геотропизма, тѣмъ болѣе, что вслѣдъ затѣмъ у трехъ проростковъ (изъ числа пяти) изгибъ продолжался и далѣе, вслѣдствіе чего концы ихъ начали уклоняться отъ направленія падающихъ снизу лучей свѣта, какъ бы стремясь вернуться къ положенію покоя.

Подтвержденіе своего взгляда на причины горизонтальнаго роста стеблей въ лабораторномъ воздухѣ Osw. Richter видитъ также и въ результатахъ своихъ новѣйшихъ опытовъ[1]). Онъ производилъ наблюденія надъ проростаніемъ сѣмянъ гороха и вики на клиностатѣ въ чистомъ воздухѣ (въ оранжереѣ) и замѣтилъ, что развивающееся надсѣмядольное колѣно въ этихъ условіяхъ образуетъ при основаніи изгибъ на спинную сторону. Этотъ изгибъ Osw. Richter считаетъ тожественнымъ съ тѣми, которые возникаютъ подъ вліяніемъ лабораторнаго воздуха и приводятъ концы стеблей въ горизонтальное направленіе. Такъ какъ онъ возникаетъ лишь при такихъ условіяхъ, когда устранено противодѣйствіе со стороны отрицательнаго геотропизма, то отсюда и слѣдуетъ, по мнѣнію Osw. Richter'a, что лабораторный воздухъ уничтожаетъ или подавляетъ геотропическую чувствительность.

Съ этимъ заключеніемъ нельзя согласиться уже потому, что вообще нутація можетъ быть причиной опредѣленнаго направленія извѣстной части растительнаго организма только по отношенію къ другимъ его частямъ, но не относительно направленія силы тяжести, въ данномъ же случаѣ, кромѣ того, та форма нутаціи которую описываетъ Osw. Richter, наблюдалась лишь при основаніи стебля, у самыхъ сѣмядолей, о чемъ авторъ упоминаетъ неоднократно и на что обращаетъ особенное вниманіе: стебли, достигшіе длины 1—1,2 см. длины оказываются уже слишкомъ старыми и непригодными для опытовъ, между тѣмъ какъ подъ вліяніемъ лабораторнаго воздуха можно получить изгибы у стеблей любой длины, любого возраста. Очевидно, изгибы, наблюдавшіеся Osw. Richter'омъ на клиностатѣ, и тѣ, которые происходятъ подъ вліяніемъ этилена или лабораторнаго воздуха у вертикально направленныхъ стеблей, представляютъ собою совершенно различныя явленія. Поэтому я не буду разсматривать относящихся сюда опытовъ и соображеній Osw. Richter'a, замѣчу только, что, повторяя его опыты, я еще не могъ пока получить описанныхъ имъ изгибовъ. Впрочемъ, отрицательные результаты имѣютъ слишкомъ ограниченное значеніе, и вопросъ о природѣ этихъ изгибовъ можетъ быть разъясненъ только путемъ спеціальнаго изслѣдованія.

* * *

Заканчивая обзоръ литературныхъ данныхъ, слѣдуетъ упомянуть, что вообще въ послѣднее время авторы изслѣдованій, относящихся къ области тропизмовъ, уже находятъ

1) Richter, Osw. Die horizontale Nutation. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. in Wien. Bd. 119. Abt. I, p. 1051. 1910.

нужнымъ до нѣкоторой степени считаться съ вліяніемъ примѣсей, содержащихся въ лабораторномъ воздухѣ, хотя и далеко недостаточно оцѣниваютъ важное значеніе этого фактора. Такъ напр. Fitting[1]) упоминаетъ, что лабораторный воздухъ въ его опытахъ не измѣнялъ направленія стеблей, но насколько его вліяніе задерживало ростъ или понижало чувствительность, — не было изслѣдовано («Ausdrücklich bemerkt sei, dass die Laboratoriumsluft bei keiner meiner Versuchspflanzen die Wuchsrichtung beeinflusst. Wie weit durch sie das Wachstum gehemmt, oder die Empfindlichkeit herabgesetzt wird, habe ich noch nicht untersucht»), и тѣмъ не менѣе опыты велись въ лабораторномъ воздухѣ, и никакихъ мѣръ къ тому, чтобы освободить его отъ примѣси свѣтильнаго газа, не было принято.

Czapek[2]) пришелъ къ убѣжденію, что въ прежнихъ его опытахъ слишкомъ большое содержаніе вредныхъ веществъ въ окружающемъ воздухѣ было одной изъ причинъ того, что опредѣленіе продолжительности скрытаго періода раздраженія, времени презентаціи и т. д. дало слишкомъ большія величины. Поэтому при новыхъ опытахъ онъ уже заботился о чистотѣ воздуха, производя ихъ въ болѣе теплое время года и устанавливая аппараты вблизи открытаго окна, но все же степень чистоты воздуха при этомъ не контролировалась (напр. путемъ наблюденій надъ развитіемъ проростковъ наиболѣе чувствительныхъ къ вреднымъ примѣсямъ растеній). Между тѣмъ эта предосторожность была бы не лишней, потому что и уличный воздухъ иногда содержитъ примѣси, дѣйствующія на проростки гороха и вики подобно свѣтильному газу, какъ отмѣтилъ въ одной изъ послѣднихъ работъ Molisch[3]) и какъ это давно уже и неоднократно приходилось наблюдать мнѣ[4]).

Pringsheim jun.[5]), упоминаетъ, что онъ предпочелъ вести опыты только лѣтомъ, такъ какъ въ зимнее время воздухъ въ лабораторіи дѣйствовалъ слишкомъ вредно.

Bach[6]), хотя и изслѣдовалъ зависимость нѣкоторыхъ явленій геотропизма отъ внѣшнихъ условій, но вліяніе лабораторнаго воздуха не счелъ нужнымъ учитывать, полагая почему то, что въ провѣтриваемомъ помѣщеніи оно мало отражается на результатахъ опытовъ («Im allgemeinen wird jedenfalls in einem ordentlich gelüfteten Versuchsraum dieser Faktor wenig im Betracht kommen»), между тѣмъ какъ даже и самъ онъ замѣтилъ, что, когда въ комнатѣ долгое время горѣлъ газъ, то способность къ геотропической реакціи у растеній оказалась значительно пониженной. («Doch ist mir zumal in einem Fall, in dem das Zimmer den genzen Morgen über mit Gasflammen geheizt worden war, eine merkwürdige Verminderung des geotropischen Reaktionsvermögens aufgeffalen» . . .).

---

1) Fitting. Untersuchungen über den geotropisch. Reizvorgang. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 41, p. 248. 1905.

2) Czapek, Fr. Die Wirkung verschiedener Neigungslagen auf den Geotropismus parallelotroper Organe. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd, 43. p. 165. 1906.

3) Molisch, H. Über den Einfluss des Tabakrauches auf die Pflanze. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. in Wien. Bd. 120. I Abt., p. 3. 1911. Въ примѣчаніи къ стр. 5 указывается, что въ Вѣнѣ (зимою) воздухъ, получавшійся черезъ открытое окно во второмъ этажѣ зданія университета, былъ настолько загрязненъ, что стебли вики росли въ немъ горизонтально или наклонно.

4) «Качест. измѣн. геотр.» Ч. I, стр. 94.

5) Pringsheim jun., Ernst. Einfluss der Beleuchtung auf die heliotropische Stimmung. Beitr. z. Biol. d. Pfl. Bd. IX. 268. 1909. (II. 2. 1907).

6) Bach, H. Ueber die Abhängigheit d. geotrop. Präsentations- und Reaktionszeit von verschiedenen Aussenbedingungen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 44, p. 59. 1907.

Имѣя въ виду вліяніе лабораторнаго воздуха, Guttenberg[1]) въ изслѣдованіи надъ взаимодѣйствіемъ геотропизма и геліотропизма счелъ нужнымъ указать, что въ темной комнатѣ, гдѣ велись опыты, и въ ближайшей къ ней свѣтильный газъ не примѣнялся, для освѣщенія же служили электрическія лампы. О достаточной чистотѣ воздуха онъ заключаетъ изъ того, что стебли не обнаруживали карликоваго роста, свойственнаго проросткамъ, развивающимся въ лабораторномъ воздухѣ. Матеріаломъ служили этіолированные стебли Avena sativa, Brassica Napus, Agrostemma Githago, Lepidium sativum и Helianthus annus. Вслѣдствіе ли малаго содержанія свѣтильнаго газа въ окружающемъ воздухѣ, или въ силу свойствъ самихъ растеній, примѣнявшихся для опытовъ, — въ данномъ случаѣ превращенія отрицательнаго геотропизма въ трасверсальный, по всей вѣроятности, не происходило. Однако все же вліяніе вредныхъ примѣсей воздуха, повидимому, не проходило безслѣдно[2]), судя по тому, что авторъ не упоминаетъ объ одной особенности роста стеблей куколя и подсолнечника, которая наблюдается только въ чистомъ воздухѣ, какъ это замѣтилъ Osw. Richter[3]), и которая едва ли могла ускользнуть отъ вниманія. Она состоитъ въ томъ, что у стеблей названныхъ растеній въ чистомъ воздухѣ круговая нутація проявляется несравненно сильнѣе, чѣмъ въ лабораторномъ, гдѣ они растутъ совершенно прямо.

Это явленіе должно казаться особенно удивительнымъ, если причиною горизонтальнаго роста стеблей гороха, вики и т. п. растеній считать автономную нутацію. Тогда оказалось бы, что у однихъ растеній подъ вліяніемъ вредныхъ примѣсей воздуха различія въ интенсивности роста на разныхъ сторонахъ стебля усиливаются, тогда какъ у другихъ наоборотъ ослабѣваютъ или даже совершенно исчезаютъ.

Несмотря на то, что въ опытахъ Osw. Richter'а лабораторный воздухъ содержалъ, навѣрно, ничтожно малое количество примѣсей, такъ какъ газъ все время не горѣлъ и помѣщеніе передъ каждымъ опытомъ провѣтривалось въ теченіе цѣлаго дня, все таки вліяніе ихъ проявилось весьма сильно. Приложенные фотографическіе снимки (табл. XV, рис. 8 и 9) производятъ поразительное впечатлѣніе, — настолько рѣзко отличаются проростки подсолнечника и куколя, полученные въ чистомъ воздухѣ, отъ находившихся въ лабораторномъ: верхніе концы ихъ сильно наклоняются то въ ту, то въ другую сторону, скручиваясь иногда всѣ вмѣстѣ въ жгутъ, или развертываясь розеткой во всѣ стороны. Вѣроятно, многіе изъ физіологовъ никогда и не видали здоровыхъ этіолированныхъ проростковъ подсолнечника, считая такими тѣ прямые, довольно толстые и негибкіе стебли, которые обыкновенно получаются въ лабораторіяхъ.

---

1) Guttenberg, H. Ritter von. Ueber d. Zusammenwirken von Geotropismus und Heliotropismus. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 45, p. 200, 201. H. 2. 1907.

2) Cp. Guttenberg, H. Ueber d. Zusammenwirken von Geotropismus und Heliotr. u. d. tropistische Empfindlichkeit in reiner u. unreiner Luft.» Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 47, p. 464. 1910.

3) Richter, Osw. Ueber d. Zusammenwirken von Heliotropismus und Geotrop. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 46, p. 489—490. 1909.

2. Опытная провѣрка мнѣнія Molisch'а и Osw. Richter'а.

По воззрѣнію Molisch'а, раздѣляемому Osw. Richter'омъ и Körnicke, проростки вики и другихъ растеній, подобно ей чувствительныхъ къ вліянію лабораторнаго воздуха, особенно энергично реагируютъ въ немъ на геліотропическое раздраженіе потому, что во-первыхъ, отрицательный геотропизмъ ихъ утрачивается или ослабѣваетъ и уже не оказываетъ противодѣйствія образованію изгиба, а во-вторыхъ, геліотропическая чувствительность наоборотъ чрезвычайно обостряется. Полученные названными авторами результаты могутъ служить доводомъ въ пользу этого предположенія, но не доказываютъ его. Въ равной мѣрѣ можно въ нихъ видѣть подтвержденіе и того вывода, къ которому приводятъ описанные выше мои опыты.

Если стебли, подвергаясь вліянію лабораторнаго воздуха, становятся трансверсально геотропичными, то геліотропическая реакція при одностороннемъ (боковомъ) освѣщеніи не встрѣчаетъ противодѣйствія со стороны геотропизма. Мало того: такъ какъ проростки уже подъ вліяніемъ силы тяжести стремятся выйти изъ вертикальнаго направленія, которое является для нихъ положеніемъ неустойчиваго равновѣсія, то геліотропическая индукція въ данномъ случаѣ играетъ роль толчка, нарушающаго состояніе равновѣсія, и поэтому понятно, что уже при весьма малой силѣ свѣтового воздѣйствія видимая реакція достигаетъ максимальной интенсивности. Здѣсь, слѣдовательно, геліотропическое и геотропическое раздраженія суммируются, такъ какъ оба являются импульсами къ образованію изгиба изъ вертикальнаго положенія къ горизонтальному, между тѣмъ какъ въ чистомъ воздухѣ одно противодѣйствуетъ другому. Само по себѣ противоположное вліяніе вредныхъ веществъ на геотропическую и геліотропическую чувствительность представляется чрезвычайно загадочнымъ и маловѣроятнымъ: трудно предположить, чтобы въ тѣхъ условіяхъ, при которыхъ реакція сильно замедляется, слабое раздраженіе могло вызывать несравненно бóльшій эффектъ, чѣмъ при быстромъ ростѣ и нормальномъ состояніи растенія [1]). Объясненіе предполагаемаго противоположнаго дѣйствія лабораторнаго воздуха на геотропическую и геліотропическую чувствительность, данное Körniche (который видитъ причину усиленія геліотропической чувствительности въ томъ, что при медленномъ ростѣ верхушка стебля

---

1) Тѣмъ болѣе, что, какъ выше было упомянуто, Richards и MacDougal нашли, что подъ вліяніемъ свѣтильнаго газа (водяного) геліотропическая чувствительность утрачивается. Правда, они примѣняли большія количества газа, и поэтому растенія сильно страдали, но еще гораздо ранѣе Correns (Ueber d. Abhäng. d. Reizerscheinungen höherer Pflanzen von Gegenwart freien Sauerstoffes. Flora Bd. 75, p. 136—137. 1892) замѣтилъ, что при ненормальномъ составѣ окружающей атмосферы (т. е. если уменьшить въ ней содержаніе кислорода) способность къ росту и образованію геотропическихъ изгибовъ еще сохраняется въ то время, какъ геліотропическая чувствительность оказывается уже утраченной (въ опытахъ съ проростками Sinapis это наблюдалось при уменьшеніи количества кислорода до 4—5%).

дольше подвергается болѣе сильному вліянію свѣта, находясь вблизи источника его), весьма просто, но совершенно неприложимо къ опытамъ Osw. Richter'a, въ которыхъ стебли были удалены на $1\frac{1}{2}$ метра отъ горѣлки.

Чтобы рѣшить вопросъ, какое именно изъ предполагаемыхъ измѣненій тропистическихъ свойствъ является дѣйствительной причиной усиленія эффекта односторонняго освѣщенія, очевидно, слѣдуетъ поставить растенія въ такія условія, при которыхъ изгибы, вызываемые дѣйствіемъ свѣта, должны были бы принять иное направленіе, чѣмъ въ томъ случаѣ, если бы они возникли въ силу трансверсальнаго геотропизма. Какъ показали описанные выше опыты (см. стр. 23 и слѣд.), изгибы подъ вліяніемъ этилена можно получить въ любомъ направленіи: оно опредѣляется тѣмъ, куда стебли наклонены (хотя бы и очень слабо) изъ вертикальнаго положенія, подобно тому, какъ это наблюдается во всѣхъ случаяхъ, когда направленіе даннаго органа близко къ положенію неустойчиваго равновѣсія (относительно геотропизма).

Представимъ себѣ, что стебли, освѣщаемые горизонтальными лучами и немного (на 10°—20°) наклоненные отъ свѣта въ противоположную сторону, подвергаются вліянію этилена. Если они становятся трансверсально геотропичными, то можно ожидать, что при нѣкоторой слабой интенсивности освѣщенія (но все же достаточной для того, чтобы заставить *совершенно вертикально* стоящіе стебли изогнуться къ источнику свѣта) геотропическое раздраженіе окажется сильнѣе геліотропическаго и стебли изогнутся, слѣдуя ему, въ ту сторону, куда они были наклонены, слѣдовательно — отъ свѣта въ противоположномъ направленіи. Если же геотропическая чувствительность, не измѣняясь качественно, только ослабѣваетъ или совсѣмъ утрачивается, а геліотропическая — усиливается, то нѣтъ причины, чтобы одни вертикально стоящіе проростки давали изгибы къ свѣту, а слегка наклоненные изгибались отъ него: и тѣ, и другіе должны реагировать одинаково (причемъ предполагается, конечно, что въ обоихъ случаяхъ верхушки стеблей находятся на одинаковомъ разстояніи отъ источника свѣта).

Точно также и въ томъ случаѣ, когда свѣтъ падаетъ на проростки сверху, можно, придавая имъ различныя положенія относительно горизонта, по направленію изгибовъ судить о причинѣ ихъ. Если они являются слѣдствіемъ воздѣйствія свѣта, то стебли, направленные горизонтально или наклонно, должны изгибаться вверхъ, а вертикально стоящіе — должны расти въ прежнемъ направленіи. Наоборотъ, если измѣняется форма геотропизма, то можно ожидать, что горизонтальные сохранятъ свое направленіе, а вертикально стоящіе и наклоненные, чтобы достигнуть своего новаго положенія покоя, изогнутся внизъ, слѣдовательно — въ сторону, противоположную той, откуда на нихъ падаетъ свѣтъ.

Приведенными соображеніями опредѣляется постановка опытовъ. Сила источника свѣта, примѣняемаго въ нихъ должна быть, разумѣется, очень мала, такъ какъ надо предполагать, что геотропическое раздраженіе, противодѣйствующее его вліянію, при небольшомъ уклоненіи стеблей отъ положенія неустойчиваго равновѣсія будетъ также весьма слабо, тѣмъ болѣе, что растенія подвергаются при этомъ дѣйствію ядовитаго газа.

Методика.

Установка освѣщенія. Всѣ опредѣленія силы свѣта я дѣлалъ посредствомъ фотометра Lummer'a и Brodhun'a, въ темной комнатѣ, стѣны которой были завѣшаны черной матовой матеріей, но потолокъ былъ бѣлый, что не оказывало, однако, вліянія, такъ какъ лампа, служившая для опытовъ, помѣщалась внутри фонаря, а источникъ свѣта, по которому опредѣлялась ея сила, находился въ большомъ ящикѣ, вычерненномъ внутри; такимъ образомъ потолокъ не былъ освѣщенъ. Въ качествѣ эталона примѣнялась амилъ-ацетатовая лампа Гефнеръ-Альтенека.

Въ моемъ распоряженіи не было оптической скамьи, поэтому разстоянія приходилось измѣрять линейкой или лентой. Передъ каждымъ опредѣленіемъ, чтобы дать глазамъ успокоиться, я въ теченіе получаса оставался въ совершенной темнотѣ. Зажигая амилъ-ацетатовую лампу и регулируя ея пламя, я закрывалъ (рукою) тотъ глазъ, которымъ затѣмъ пользовался при наблюденіи освѣщенія въ фотометрѣ.

Чтобы имѣть возможность сравнить результаты своихъ опытовъ съ данными Osw. Richter'a, я старался урегулировать служившую источникомъ свѣта газовую лампочку (Mikrobrenner) такимъ образомъ, чтобы сила ея находилась въ опредѣленномъ простомъ отношеніи къ силѣ употреблявшейся имъ лампы. Osw. Richter относилъ свои опредѣленія къ «Normalkerze» (NK), не обозначая, что онъ подъ этимъ подразумѣваетъ. По всей вѣроятности, здѣсь имѣется въ виду нѣмецкая параффиновая свѣча (deutsche Vereins-Paraffinkerze, или просто Vereinskerze, обозначаемая VK). Выраженія «Normalkerze» ни въ справочныхъ книгахъ, ни въ курсахъ физики (напр., Winkelmann'a «Handbuch der Physik», Müller-Pouillets Lehrbuch d. Physik u. Meteorologie. 10 Aufl. Bd. 2. 1909, Хвольсонъ. Курсъ физики. Изд. 2. Т. 2. 1904) я не нашелъ; только въ одномъ изъ старыхъ изданій Müller-Pouillet (8 Aufl. 1879. Bd. II. Abth. I. S. 21) сказано, что, какъ Normalkerzen, обозначаются восковые свѣчи, которыхъ идетъ 6 на $1/2$ кило, но врядъ ли Osw. Richter подразумѣвалъ эту единицу.

Всѣ источники свѣта, примѣняемые въ качествѣ эталоновъ, кромѣ лампы Гефнеръ-Альтенека, не отличаются постоянствомъ, и поэтому трудно установить ихъ отношеніе къ силѣ ея свѣта[1]). Lummer и Brodhun[2]) опредѣлили отношеніе Deutsche Vereinskerze (VK) къ лампѣ Гефнеръ-Альтенека (НК) равнымъ 1,162 (слѣдовательно НК составляетъ 0,86 VK). По изслѣдованіямъ германскаго Physikalisch-Technische Reichsanstalt[3]) НК : VK = 0,8(3) и, слѣд., VK : НК = 1,2. Въ дальнѣйшемъ изложеніи я буду принимать это послѣднее отношеніе, такъ какъ оно было опредѣлено, повидимому, непосредственнымъ сравненіемъ параффиновой свѣчи и лампы Гефнера, тогда какъ Lummer и Brodhun сравнивали оба эти источника съ электрической лампой.

1) Хвольсонъ. Курсъ физики. Изд. 2. 1904. Т. 2 стр. 454.
2) Lummer und Brodhun. Photometrische Untersuchungen. Zeitschr. f. Instrumentenkunde. Bd. 10, p. 133. 1890.
3) «Die Beglaubigung der Hefnerlampe» (Mittheilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt). Zeitschr. f. Instrumentenkunde. Bd. 13, p. 257. 1893.

Въ основномъ опытѣ Osw. Richter'а свѣтъ получался отъ Mikrobrenner, сила которой была опредѣлена въ 0,00451 NK, т. е. въ фотометрѣ получалось одинаковое освѣщеніе, когда горѣлка находилась на разстояніи 20,5 см., а эталонъ — на разстояніи 305 см. Чтобы имѣть такое же освѣщеніе, замѣняя NK лампой Гефнера, нужно помѣстить ее на разстояніи, опредѣляемомъ по формулѣ: $x^2 : 305^2 = HK : NK$; если $NK = VK$, то $x = 305 \sqrt{HK : VK = 0{,}8(3)} = 277{,}55$ см.

По размѣрамъ темной комнаты, въ которой мнѣ пришлось вести опыты, было неудобно устанавливать лампу Гефнера на разстояніи 277,55 см. отъ фотометра, такъ какъ это стѣсняло бы распредѣленіе другихъ приборовъ и культуръ, а мнѣ казалось желательнымъ, установивъ всѣ приборы до начала опыта, оставить ихъ въ такомъ положеніи, чтобы можно было въ любое время провѣрить силу свѣта, даваемаго горѣлкой. Поэтому я помѣстилъ эталонъ на разстояніи $\frac{3}{4} \times (277{,}55)$ см. $= 208$ см. отъ освѣщаемаго экрана въ фотометрѣ и соотвѣтственно этому газовую лампу на разстояніи $\frac{3}{4} \times 20{,}5$ см. $= 15{,}4$ см.

Если при этихъ разстояніяхъ уменьшить пламя горѣлки настолько, чтобы оно давало въ фотометрѣ одинаковое освѣщеніе съ амилъ-ацетатовой лампой, то оказывается, что уже значительная часть его внизу имѣетъ синій цвѣтъ. Такъ какъ было желательно получить и еще болѣе слабое освѣщеніе, то приходилось убавлять пламя и тѣмъ еще больше измѣнять его окраску, вслѣдствіе чего сравнивать освѣщеніе въ фотометрѣ съ тѣмъ, которое получается отъ желтоватаго пламени амилъ-ацетатовой лампы, было очень трудно, почти невозможно, и, кромѣ того, въ виду измѣненія качества свѣта нельзя было предполагать, что геліотропическое воздѣйствіе уменьшится соотвѣтственно ослабленію яркости на глазъ. Поэтому я рѣшилъ помѣстить газовую горѣлку въ фонарь съ молочными стеклами. Для этой цѣли былъ спеціально изготовленъ мѣдный фонарь по образцу употребляемыхъ въ фотографической темной комнатѣ. Горѣлка (обыкновенная Mikrobrenner) была впаяна въ дно такимъ образомъ, чтобы кранъ ея находился снаружи. Стекла были нарѣзаны изъ одного куска. Они были прикрыты толстой черной бумагой, въ которой на высотѣ пламени съ каждой изъ двухъ боковыхъ сторонъ было сдѣлано круглое отверстіе діаметромъ въ 2 см. Горѣлка была соединена съ регуляторомъ газоваго давленія Moitessier. Это было необходимо, такъ какъ давленіе въ газовой сѣти сильно колебалось (отъ $17\frac{1}{2}$ до 23 mm. водяного столба). Въ виду того, что оно часто стояло низко, пришлось не только примѣнять регуляторъ безъ нагрузки, но даже снять чашку для нея. Помѣстивъ фотометръ такимъ образомъ, чтобы разстояніе отъ экрана въ немъ до поверхности стекла фонаря равнялось 7,7 см., а лампу Гефнеръ-Альтенека на разстояніи 208 см., я установилъ одинаковое освѣщеніе. Черезъ стекло проходилъ свѣтъ такой окраски, что освѣщаемая имъ поверхность экрана въ фотометрѣ не отличалась по цвѣту отъ противоположной, которая освѣщалась лампой Гефнера. Разстояніе отъ свѣтящей поверхности (стекла въ фонарѣ) до экрана фотометра равнялось половинѣ того, при которомъ получалась бы та же сила свѣта, какую имѣла горѣлка у Osw. Richter'а ($0{,}00451$ VK $= 0{,}00541$ HK), слѣдовательно, въ данномъ случаѣ сила свѣта равнялась $\frac{0{,}00541 \text{ HK}}{4} = 0{,}0014$ HK.

Такъ была установлена сила свѣта источника для опыта 146-го. Для слѣдующаго опыта (147-го) интенсивность свѣта была взята въ 2 раза меньше, чѣмъ у Osw. Richter'а (0,0027 НК), т. е. разстояніе отъ экрана фотометра до фонаря составляло 10,9 см. (оно было опредѣлено по расчету: $x = \sqrt{\frac{1}{2}(15,4)^2}$), лампа Гефнера попрежнему помѣщалась на разстояніи 208 см. Въ опытѣ 148-мъ сила свѣта была уменьшена до 0,0015 НК, т. е. разстояніе отъ фонаря до фотометра равнялось 8,2 см. Въ опытахъ 150-мъ и 151-мъ сила свѣта составляла 0,0025 НК, т. е. разстояніе отъ фонаря до фотометра равнялось 10 см., отъ фотометра до пламени амилъ-ацетатовой лампы — 200 см.

Расположеніе приборовъ и культуръ. На рисункѣ 10-мъ таблицы II-ой представлено расположеніе приборовъ и культуръ въ опытахъ 146-мъ, 147-мъ и 148-мъ [1]). Чтобы показать, въ какомъ положеніи относительно лучей свѣта и линіи отвѣса находились культуры, онѣ изображены здѣсь открыто; во время опыта онѣ помѣщались, какъ обыкновенно, въ вычерненныхъ внутри деревянныхъ ящикахъ.

Фонарь былъ установленъ на такой высотѣ, чтобы пламя находилось на одномъ уровнѣ съ верхушками проростковъ, помѣщавшихся на столѣ. Они получали свѣтъ не непосредственно отъ фонаря, но отраженный отъ зеркала *a*, которое было установлено вертикально подъ угломъ 45° относительно стѣнки фонаря. Проростки, находившіеся въ ящикѣ, который стоялъ на полу, освѣщались сверху лучами, отражавшимися отъ зеркала *b*, наклоненнаго подъ угломъ 45° къ горизонту. Обѣ зеркальныя пластинки были вырѣзаны изъ одного куска. Середина того и другого зеркала находилась на одинаковомъ разстояніи отъ фонаря (50 см.), также какъ и отъ середины линіи, по которой были расположены культуры въ соотвѣтствующихъ ящикахъ. Въ опытѣ 146-мъ культуры въ ящикѣ на столѣ были установлены по прямой линіи, во всѣхъ послѣдующихъ — по кривой, вычерченной такимъ образомъ, чтобы свѣтъ отъ фонаря, отражаясь въ зеркалѣ *a*, до любой изъ ея точекъ проходилъ одинаковый путь. Въ первомъ случаѣ культуры были распредѣлены такъ, чтобы на болѣе близкомъ разстояніи отъ фонаря (по ходу лучей) находились тѣ изъ нихъ, у которыхъ ожидалось образованіе изгибовъ въ сторону противоположную той, откуда на нихъ падалъ свѣтъ.

Описаніе опытовъ.

Какъ видно изъ прилагаемыхъ протоколовъ и фотографическихъ снимковъ (табл. II, рис. 11, 12, 13), источникъ свѣта въ 4 раза слабѣе, чѣмъ у Osw. Richter'а, приблизительно на такомъ же разстояніи, какъ въ его опытахъ, оказался достаточнымъ, чтобы вызвать такой же эффектъ (**опытъ 146**): въ воздухѣ съ примѣсью этилена (культуры IV и V) стебли круто изогнулись къ свѣту, тогда какъ въ чистомъ воздухѣ (III) они продолжали расти почти совершенно прямо. Но это было только въ томъ случаѣ, когда культуры находились въ вертикальномъ положеніи. Достаточно было немного наклонить проростки въ плоскости,

1) Снимокъ былъ сдѣланъ не въ той комнатѣ, гдѣ они находились во время опытовъ, такъ какъ въ ней неудобно было помѣстить фотографическій аппаратъ.

перпендикулярной направленію лучей (культура I) или въ сторону противоположную той, откуда на нихъ падалъ свѣтъ (культура II), чтобы стебли оказались какъ будто совершенно нечувствительными къ нему: они изгибались въ томъ направленіи, куда были наклонены, даже и въ обратную сторону отъ свѣта. Если въ культурахъ, остававшихся въ вертикальномъ положеніи, отдѣльные стебли росли наклонно, то они также давали изгибы въ ту сторону, куда были наклонены, независимо отъ направленія свѣта.

Въ то же время, изъ числа проростковъ, находившихся въ воздухѣ съ примѣсью этилена и освѣщаемыхъ сверху, тѣ, которые оставались въ вертикальномъ положеніи (культура IX), всѣ дали изгибы отъ свѣта къ горизонтальной плоскости, преодолѣвая вліяніе геліотропическаго раздраженія; точно также и наклоненные подъ угломъ въ 45° выше горизонта (культура VIII) изогнулись отъ свѣта книзу и приняли горизонтальное направленіе, тогда какъ направленные горизонтально (VII) такъ и продолжали расти. Въ двухъ послѣднихъ культурахъ на третій день появились у нѣкоторыхъ стеблей новые изгибы въ обратномъ направленіи. О причинѣ образованія ихъ трудно судить, но такъ какъ подобные изгибы нерѣдко происходятъ и въ темнотѣ (какъ выше было указано), то болѣе, чѣмъ вѣроятно, что и въ данномъ случаѣ они не были вызваны дѣйствіемъ свѣта.

Опытъ былъ повторенъ, съ тою разницей, что сила свѣта была увеличена вдвое (**опытъ 147**), вслѣдствіе чего вліяніе геліотропизма какъ будто уже нѣсколько сказалось, и особенно въ культурахъ, освѣщаемыхъ сверху: изъ 8 проростковъ, наклоненныхъ подъ угломъ въ 45° только два изогнулись книзу, четыре сохранили приданное имъ направленіе, а два дали слабые изгибы кверху; находившіеся въ вертикальномъ положеніи также не всѣ изогнулись отъ свѣта; но приведенные въ горизонтальное положеніе такъ и продолжали расти, только одинъ изогнулся вверхъ.

При слѣдующемъ повтореніи (**опытъ 148**) сила свѣта вновь была уменьшена, но все же освѣщеніе было интенсивнѣе, чѣмъ въ первомъ изъ этихъ опытовъ. Результатъ получился близкій къ предыдущему; вліяніе геліотропизма также обнаружилось, хотя и слабѣе. Въ тѣхъ двухъ культурахъ, гдѣ почвой служила земля (культуры II и IV), а не песокъ, какъ во всѣхъ остальныхъ, вліяніе этилена было замѣтно слабѣе.

Вика представляетъ собою неблагодарный объектъ для этихъ опытовъ. Въ первомъ междоузліи (также отчасти и во второмъ) изгибы подъ вліяніемъ этилена (въ темнотѣ) въ большинствѣ случаевъ образуются на спинную сторону. Въ опытахъ Molisch'a и Osw. Richter'a проростки и были всегда оріентированы такъ, что стебли изгибались именно въ этомъ направленіи. Слѣдуя примѣру этихъ авторовъ (mutatis mutandis), т. е. оріентируя молодые проростки такъ, чтобы изгибы, происходящіе въ силу трансверсальнаго геотропизма, всегда направлялись на спинную сторону, въ только что описанныхъ опытахъ можно было бы получить болѣе однообразные результаты, но они потеряли бы доказательность. Поэтому я и примѣнялъ проростки болѣе поздняго возраста. Но ихъ трудно получить (въ чистомъ воздухѣ) вполнѣ вертикальными; если же они растутъ, хоть немного наклоняясь въ разныя стороны, то и изгибы въ одной и той же культурѣ направляются различно.

Опытъ 146. Vicia sativa. *(Табл. II, рис. 11, 12, 13)*

Сила свѣта — 0,0014 НК. Разстояніе — 160 см. Интенсивность освѣщенія проростковъ — 0,0005 МК. Температура $19\frac{1}{2}°$—20°.

16/IV. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Культуры помѣщаются подъ 2-литровыми колоколами, черезъ которые ежедневно въ теченіе 3 час. продувается уличный воздухъ. Въ темнотѣ.

18/IV. Длина стеблей $\frac{1}{4}$—$1\frac{1}{2}$ см.

21/IV. Стебли достигаютъ длины 10 см.

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.
	Свѣтъ падаетъ въ горизонтальномъ направленіи.					Свѣтъ падаетъ сверху.			
21/IV.	Въ 1 ч. 5 м. введено $\frac{1}{2}$ сс. $\frac{1}{2}$% смѣси этилена съ воздухомъ. Въ 1 ч. 35 м. проростки наклонены на спинную сторону (на 10°). Проростки обращены къ свѣту боковой стороной (правой).	Въ 1 ч. 12 м. введено то же количество этилена. Въ 1 ч. 42 м. наклонены на спинную сторону (на 10°). Проростки обращены къ свѣту брюшной стороной.	Въ чистомъ воздухѣ. Культура остается въ вертикальномъ положеніи. Проростки обращены къ свѣту брюшной стороной.	Въ 4 ч. 5 м. введено то же количество этилена, какъ въ I. Культура остается въ вертикальномъ положеніи. Проростки обращены къ свѣту брюшной стороной.	Въ 4 ч. 7 м. введено то же количество этилена, какъ въ I. Культура остается въ вертикальномъ положеніи. Проростки обращевы къ свѣту боковой стороной (правой).	Въ чистомъ воздухѣ. Въ 4 ч. 15 м. приведены въ горизонтальное положеніе. Проростки обращены къ свѣту спинной стороной.	Въ 1 ч. 15 м. введено то же количество этилена, какъ въ I. Въ 4 ч. 15 м. приведены въ горизонтальное положеніе. Проростки обращены къ свѣту спинвой стороной.	Въ 1 ч. 17 м. введено то же количество этилена, какъ въ I. Въ 4 ч. 17 м. наклонены подъ угломъ 45°. Проростки обращены къ свѣту спинной стороной.	Въ 1 ч. 19 м введено то же количество этилена, какъ въ I. Культура остается въ вертикальномъ положеніи.
	Культуры I, II, III, IV и V освѣщаются съ 4 ч. 5 м.					Культуры VI, VII, VIII и IX освѣщаются съ 4 ч. 15 м.			
22/IV.	Изогнулись въ плоскости, перпендикулярной лучамъ, въ ту сторону, куда были наклонены, кромѣ одного, который до начала опыта росъ наклонно въ ту сторону, откуда потомъ падалъ свѣтъ, онъ изогнулся къ свѣту	Изогвулись въ ту сторону, куда были наклонены, т. е. отъ свѣта.	Сильно выросли. Очень слабо наклоняются къ свѣту.	Изогнулись къ свѣту. Нѣкоторые, росшіе въ наклонномъ положеніи, изогнулись въ ту сторону, куда были случайно наклонены.	Какъ въ IV.	Всѣ образовали изгибы вверхъ. Концы стеблей направились вертикально и сильно выросли.	Всѣ растутъ въ горизонтальномъ направленіи.	Изогнулись книзу до горизонтальнаго направленія, т. е. отъ свѣта.	Изогнулись въ разныя стороны (отъ свѣта), къ горизонтальной плоскости.
	Во всѣ колокола, кромѣ III и VI, введено по 1 сс. $\frac{1}{2}$% смѣси этилена съ воздухомъ, послѣ 2-минутнаго продуванія.								
23/IV.	*Опытъ оконченъ.* Одинъ стебель (изъ 14) далъ второй изгибъ въ обратную сторону. Остальные изгибы сохранились.	Ни одинъ стебель (изъ 11) не изогнулся къ свѣту: большинство отъ свѣта, у нѣкоторыхъ изгибы лежатъ въ плоскости, перпендикулярной лучамъ.	15 проростковъ. Очень слабо наклонены къ свѣту.	Направленіе изгибовъ сохранилось.	Направленіе изгибовъ сохравилось.	Стебли начали свѣшиваться внизъ. Появились вторые изгибы, которыми концы ихъ вновь направляются вертикально.	Семь стеблей растутъ въ горизонтальномъ направленіи, у 5 — появились вторые изгибы въ обратную сторону (кверху).	Девять стеблей растутъ горизонтально; у 4 — вторые изгибы въ обратную сторону.	У одного проростка образовался второй изгибъ въ обратную сторону (кверху).

Опытъ 147. Vicia sativa.

Сила свѣта — 0.0027 НК. Разстояніе — 160 см. Интенсивность освѣщенія проростковъ — 0.001055 МК. Температура 19°—20¼°.

25/IV. Стерилизованныя и размоченныя сѣмяна посажены въ песокъ. Культуры помѣщаются подъ 2-литровыми колоколами, черезъ которые ежедневно продувается уличный воздухъ въ теченіе 3 часовъ. Въ темнотѣ.

27/IV. Длина стеблей ¼—1½ см.

Культуры I, II, III, IV и V расположены по кривой линіи на равныхъ разстояніяхъ отъ фонаря (по ходу лучей).

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.
	Свѣтъ падаетъ въ горизонтальномъ направленіи.					Свѣтъ падаетъ сверху.			
30/IV.	Въ 1 ч. 57 м. введено ½ сс. ½% смѣси этилена съ воздухомъ. Въ 2 ч. 42 м. наклонены отъ свѣта въ противоположную сторону (на 10°) Къ свѣту обращены боковой сторовой.	Въ 2 ч. введено то же количество этилена. Въ 2 ч. 45 м. наклонены въ противоположную сторону отъ свѣта. Къ свѣту обращены брюшной стороной.	Въ чистомъ воздухѣ. Къ свѣту обращены брюшной стороной, культура остается въ вертикальномъ положеніи.	Въ 5 ч. введенъ этиленъ. Культура остается въ вертикальвомъ положевіи. Проростки обращевы къ свѣту боковой сторопой.	Въ 5 ч. введенъ этилевъ и культура наклонена къ свѣту. Проростки обращены брюшной стороной къ свѣту.	Въ чистомъ воздухѣ. Въ 5 ч. приведены въ горизонтальное положеніе.	Въ 2 ч. 7 м. введенъ этиленъ. Въ 2 ч. 52 м. культура приведена въ горизонтальное положеніе.	Въ 2 ч. 10 м. введенъ этиленъ. Въ 2 ч. 55 м. культура наклонена на 45°.	Въ 2 ч. 13 м. введенъ этиленъ. Культура остается въ вертикальномъ положеніи.
	Всѣ культуры освѣщаются съ 5 часовъ.								
1/V.	*Опытъ оконченъ.* Концы стеблей вначалѣ слабо изогнулись въ ту сторону, куда были наклопены, но затѣмъ нѣкоторые изъ нихъ дали такіе же слабые изгибы въ разныя стороны, часть также и въ обратномъ направленіи.	Два стебля изогнулись къ свѣту, остальные 11 въ ту сторону, куда были наклонены (отъ свѣта).	Верхушки стеблей очень слабо наклонились къ свѣту.	Десять стеблей изогнулись къ свѣту, 2 — въ противоложную сторону.	Восемь стеблей изогнулись къ свѣту, 4 — въ плоскости, перпендикулярной къ направленію лучей.	Всѣ изогнулись вверхъ и сильно выросли	У 11 стеблей верхушки растутъ почти горизонтально, у одного — изогнулась кверху (къ свѣту).	У 4 стеблей концы растутъ въ прежнемъ направленіи, у двухъ слабо изогнулись книзу, у другихъ двухъ — кверху.	У девяти стеблей концы изогвулись, но не до горизонтальнаго положенія; у двухъ—остались прямыми.

Опытъ 148. Vicia sativa.

Сила свѣта — 0.0015 НК. Разстояніе 150 см. Интенсивность освѣщенія проростковъ — 0.000(6) МК. Температура 24°—26°.

9/V. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Культуры помѣщаются подъ 2-литровыми колоколами, черезъ которые въ теченіе первыхъ трехъ дней непрерывно продувается уличный воздухъ.

11/V. Проростки пересажены по 10 штукъ, въ 7 культурахъ — въ песокъ и въ 2 культурахъ — въ землю (II и IV).

13/V. Стебли достигаютъ 6 см.; растутъ нѣсколько наклонно.
Культуры I, II, III, IV и V расположены по кривой линіи на равныхъ разстояніяхъ отъ фонаря (по ходу лучей).

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.
	Свѣтъ падаетъ въ горизонтальномъ направленіи.					Свѣтъ падаетъ сверху.			
13/V.	Въ 11 ч. 40 м. введено $^1/_2$ сс. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ. Въ 12 ч. 10 м. культура наклонена отъ свѣта (на 10°). Проростки обращены къ свѣту брюшной стороной.	Этиленъ введенъ въ 11 ч. 42 м. Въ 12 ч. 12 м. культура наклонена отъ свѣта. Проростки обращены къ свѣту боковой стороной.	Въ чистомъ воздухѣ. Культура остается въ вертикальномъ положеніи. Проростки обращены брюшной стороной къ свѣту.	Этиленъ введенъ въ 2 ч. 10 м. Культура остается въ вертикальномъ положеніи. Проростки обращены къ свѣту боковой стороной.	Этиленъ введенъ въ 2 ч. 13 м., и культура тотчасъ наклонена къ свѣту (на 10°). Проростки обращены къ свѣту брюшной стороной.	Въ чистомъ воздухѣ. Въ 2 ч. 15 м. культура приведена въ горизонтальное положеніе. Проростки обращены къ свѣту брюшной стороной.	Этиленъ введенъ въ 11 ч. 45 м. Культура приведена въ горизонтальное положеніе въ 12 ч. 15 м. Проростки обращены къ свѣту брюшной стороной.	Этиленъ введенъ въ 11 ч. 48 м. Культура наклонена на 45° въ 12 ч. 18 м. Проростки обращены къ свѣту брюшной стороной.	Этиленъ введенъ въ 11 ч. 50 м. Культура остается въ вертикальномъ положеніи.
	Всѣ девять культуръ освѣщаются съ 2 ч. 15 м.								
14/V.	*Опытъ оконченъ.* Пять стеблей дали первый изгибъ отъ свѣта, второй въ обратную сторону. 3 стебля сразу изогнулись къ свѣту; 1 изогнулся въ плоскости, перпендикулярной направленію лучей; 1 остался прямымъ.	Пять стеблей изогнулись въ плоскости, перпендикулярной лучамъ, или въ близкомъ къ этому направленію. Три стебля изогнулись отъ свѣта въ ту сторону, куда были наклонены, во 2 изъ нихъ дали новые изгибы къ свѣту. Одинъ изогнулся отъ свѣта; одинъ остался прямымъ.	Росли почти прямо.	Семь стеблей дали слабые изгибы къ свѣту; 3 — остались прямыми.	Пять стеблей дали слабые изгибы къ свѣту; 2 — остались прямыми.	Всѣ 9 стеблей изогнулись кверху и сильно выросли.	У семи стеблей концы росли горизонтально; у одного — изогнулся верху на 45°.	У 7 стеблей слабые изгибы книзу; изъ нихъ два изогнулись второй разъ: одинъ кверху, другой въ сторону; два стебля остались прямыми; одинъ изогнулся сначала къ свѣту, потомъ въ обратномъ направленіи.	Двѣнадцать стеблей дали изгибы, но не достигли горизонтальнаго положенія, 2 — остались прямыми.

Болѣе однородные и весьма наглядные результаты были получены въ опытахъ съ горохомъ (**опыты 150** и **151**, табл. II, рис. 14 и 15). Для нихъ я ограничивался четырьмя культурами: одна (IV) находилась въ чистомъ воздухѣ въ вертикальномъ положеніи, три остальныя — въ воздухѣ съ примѣсью этилена; изъ нихъ одна (II) — также въ вертикальномъ положеніи, другая (III) была наклонена отъ свѣта въ противоположную сторону и третья (I) — къ свѣту: эта послѣдняя предназначалась для того, чтобы получить изгибы къ свѣту въ условіяхъ освѣщенія, сходныхъ съ тѣми, какія были въ предыдущей культурѣ. Сила источника свѣта была приблизительно вдвое меньше, чѣмъ въ опытахъ Osw. Richter'a (именно 0,0025 НК), а разстояніе одинаковое (150 см.). Проростки были обращены спинной стороной къ свѣту. Это условіе наиболѣе невыгодно для моего предположенія: доказательствомъ его вѣрности должно было служить образованіе изгибовъ въ противоположную сторону отъ свѣта, тогда какъ здѣсь оно встрѣчало противодѣйствіе и со стороны геліотропическаго раздраженія, и со стороны волнообразной нутаціи.

Фотографическіе снимки (табл. II, рис. 14 и 15) лучше всякаго описанія даютъ понятіе о полученныхъ результатахъ. Отношеніе къ свѣту *вертикально* направленныхъ проростковъ, находившихся въ чистомъ воздухѣ и подвергнутыхъ вліянію этилена, было совершенно подобно тому, какое наблюдалось въ опытахъ Osw. Richter'a: въ чистомъ воздухѣ (IV) стебли росли нѣсколько косо, слабо наклонившись къ свѣту (какъ это особенно хорошо видно на снимкѣ 15-мъ, сдѣланномъ въ то время, когда концы стеблей только что

Опытъ 150. Горохъ. *(Табл. II, рис. 14, 15)*

Сила свѣта 0.0025 НК. Разстояніе — 150 см. Интенсивность освѣщенія проростковъ — 0.0011 МК. Температура 17°—23°.

21/X. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Культуры помѣщаются подъ 2-литровыми колоколами, черезъ которые непрерывно продувается уличный воздухъ.

22/X. Проростки пересажены, у всѣхъ срединныя плоскости параллельны.

27/X. Ростъ перваго междоузлія законченъ, длина второго междоузлія около $2^1/_2$ см.

	I.	II.	III.	IV.
27/X.	Въ 11 ч. 40 м. введено $^1/_2$ cc. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ. Въ 12 ч. 43 м. культура наклонена къ свѣту (на 10°).	Въ 12 ч. 40 м. введенъ этиленъ въ томъ же количествѣ. Культура остается въ вертикальномъ положеніи.	Въ 11 ч. 43 м. введенъ этиленъ. Въ 12 ч. 43 м. культура наклонена въ сторону, противоположную той, откуда падаетъ свѣтъ.	Въ чистомъ воздухѣ. Культура остается въ вертикальномъ положеніи.
	Во всѣхъ четырехъ культурахъ проростки обращены къ свѣту спинной стороной.			
28/X.	Всѣ изогнулись къ свѣту.	Всѣ изогнулись къ свѣту.	4 проростка изогнулись отъ свѣта.	Очень слабо наклонились къ свѣту.
	Въ I, II и III колоколъ введено по $^1/_2$ cc. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ, послѣ 3-минутнаго продуванія, также и въ слѣдующіе дни.			
31/X.	*Опытъ оконченъ.* Концы всѣхъ стеблей направились къ свѣту.	Вначалѣ всѣ изогнулись къ свѣту, затѣмъ 2 стебля дали еще вторые изгибы въ сторону и книзу.	Вначалѣ всѣ стебли изогнулись отъ свѣта, въ ту сторону, куда были наклонены, затѣмъ 2 — дали вторые изгибы книзу.	Очень сильно выросли, упирались въ верхнюю часть колокола и поэтому согнулись.

Опытъ 151. Горохъ.

Сила свѣта 0.0025 НК. Разстояніе — 150 см. Интенсивность освѣщенія проростковъ — 0.0011 МК. Температура 19°—20°.

4/XI. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Культуры помѣщаются подъ 2-литровыми колоколами, чрезъ которые непрерывно продувается уличный воздухъ.

5/XI. Проростки пересажены такъ, чтобы срединныя плоскости у всѣхъ были параллельны.

	I.	II.	III.	IV.
10/XI.	Въ 12 ч. 13 м. введено $^1/_2$ сс. 0.3% смѣси этилена съ воздухомъ. Въ 1 ч. 15 м. культура наклонена къ свѣту (на 10°).	Этиленъ введенъ въ томъ же количествѣ въ 1 ч. 13 м. Культура остается въ вертикальномъ положеніи.	Этиленъ введенъ въ томъ же количествѣ въ 12 ч. 6 м. Въ 1 ч. 6 м. культура наклонена отъ свѣта (на 10°).	Въ чистомъ воздухѣ. Культура остается въ вертикальномъ положеніи.
	Во всѣхъ четырехъ культурахъ проростки обращены къ свѣту спинной стороной. Освѣщаются съ 1 ч. 15 м.			
	4 ч. 55 м. — 2 стебля начали гнуться къ свѣту.	Изгибовъ нѣтъ.	Изгибовъ нѣтъ.	Изгибовъ нѣтъ.
11/XI.	Всѣ изогнулись къ свѣту.	Всѣ изогнулись къ свѣту.	Всѣ изогнулись отъ свѣта.	Нѣсколько наклонились къ свѣту.
	Въ колокола I, II и III введено по $^1/_2$ сс. 0.3% смѣси этилена съ воздухомъ, послѣ 3-минутнаго продуванія.			
12/XI.	*Опытъ оконченъ.* Всѣ изогнуты къ свѣту.	У 6 проростковъ изгибы направлены къ свѣту, у одного въ плоскости, перпендикулярной лучамъ.	Всѣ изгибы направлены отъ свѣта въ противоположную сторону.	Сильно выросли. Верхнія части стеблей замѣтно наклоняются къ свѣту.

достигли верхушки колокола), въ воздухѣ же съ примѣсью этилена (II) всѣ круто изогнулись въ ту сторону, откуда на нихъ падалъ свѣтъ. Такое же направленіе приняли изгибы проростковъ, наклоненныхъ къ свѣту (I), тогда какъ тѣ проростки, которые были слабо наклонены отъ свѣта, всѣ въ эту сторону и изогнулись, приблизительно до горизонтальнаго положенія, какъ будто они не испытывали никакого геліотропическаго раздраженія.

Также надъ проростками гороха былъ повторенъ и индукціонный опытъ Osw. Richter'a, параллельно при вертикальномъ и наклонномъ положеніи культуръ (**опытъ 134**). Osw. Richter примѣнялъ кратковременное освѣщеніе (въ теченіи 5 мин.) плоской горѣлкой въ 23,65 NK (что составляетъ 28,38 НК). Мнѣ не удалось найти такой большой горѣлки, которая давала бы свѣтъ указанной интенсивности при томъ давленіи, какое держится въ газовой сѣти въ Петербургѣ; вѣроятно, здѣсь играетъ важную роль также и различіе въ составѣ газа. Чтобы воспользоваться полностью имѣющимся давленіемъ, я не примѣнялъ въ этомъ опытѣ регулятора, что не имѣло существеннаго значенія въ виду кратковременности дѣйствія свѣта. Сила свѣта горѣлки имѣвшейся въ моемъ распоряженіи, была опредѣлена при различной высотѣ давленія. Тому давленію, которое было отмѣчено во время экспозиціи, соотвѣтствовала интенсивность свѣта 23,6 НК. Это средняя величина, такъ какъ даже въ теченіе 5 минутъ давленіе измѣнялось (на 0,5 мм.). Проростки находились на болѣе близкомъ разстояніи, чѣмъ въ опытѣ Osw. Richter'a, и поэтому интенсивность освѣщенія стеблей была почти одинакова (у Osw. Richter'a — 16,8 МК, у меня — 16,4 МК). Всего было 4 культуры. Послѣ того какъ онѣ были въ первый разъ подвергнуты дѣйствію свѣта

и въ колокола былъ введенъ этиленъ, двѣ культуры (III и IV) были наклонены въ сторону противоположную той, откуда на нихъ падалъ свѣтъ, а двѣ другія (I и II) — оставлены въ вертикальномъ положеніи. Стебли были обращены къ свѣту разными сторонами: въ культурахъ I и IV — брюшной, во II и III — боковой[1]).

Черезъ сутки уже появились изгибы. Въ этотъ день стебли были освѣщены еще разъ, а черезъ два дня опытъ былъ оконченъ Въ культурахъ I и II, остававшихся въ вертикальномъ положеніи, почти всѣ стебли оказались изогнувшимися къ свѣту, тогда какъ въ III и IV, наклоненныхъ въ обратную сторону, — отъ свѣта (рис. 16, табл. II; чтобы можно было видѣть направленіе изгибовъ, при фотографированіи культуры были повернуты на 90° вокругъ своей оси; во время опыта освѣщалась та сторона, которая на снимкѣ обращена вправо отъ зрителя, т. е. слѣдовательно, свѣтъ падалъ въ плоскости рисунка по на-

Опытъ 134. Горохъ. *(Табл, II, рис. 16)*

Источникъ свѣта плоская горѣлка въ 23.6 ПК. Разстояніе 120 см. Интенсивность освѣщенія проростковъ 16.4 МК. Температура $20^1/_2°$—23°.

3/V. Стерилизованныя и размоченныя сѣмена посажены въ песокъ. Культуры помѣщаются подъ 2-литровыми колоколами, черезъ которые продувается уличный воздухъ не менѣе 3 часовъ въ день.

6/V. Проростки пересажены въ гипсовые вегетаціонные сосуды такимъ образомъ, чтобы срединныя плоскости были у всѣхъ параллельны.

9/V. Ростъ перваго и второго междоузлія законченъ у большинства проростковъ; начинаетъ развиваться третье междоузліе. Многіе стебли закручены.

	I.	II.	III.	IV.
9/V.	Введено по $^1/_2$ сс. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ во всѣ четыре колокола, и затѣмъ они освѣщались въ теченіе 5 минутъ пламенемъ въ 23.6 ПК. Послѣ этого культуры III и IV были наклонены.			
	Проростки обращены къ свѣту брюшной стороной. Культура остается въ вертикальномъ положеніи.	Проростки обращены къ свѣту боковой стороной. Культура остается въ вертикальномъ положеніи.	Проростки обращены къ свѣту боковой стороной. Культура наклонена въ противоположную сторону (на 10°).	Проростки обращены къ свѣту брюшной стороной. Культура наклонена въ противоположную сторону (на 10°).
10/V.	Большинство стеблей изогнулось къ свѣту.	Какъ въ I.	Большинство стеблей изогнулось отъ свѣта.	Какъ въ III.
	Введено по $^1/_2$ сс. $^1/_2$% смѣси этилена съ воздухомъ во всѣ 4 колокола. Проростки освѣщались въ теченіе 5 минутъ.			
12/V.	*Опытъ оконченъ.* Девять стеблей дали изгибы къ свѣту; 5—приблизительно въ плоскости, перпендикулярной лучамъ.	Девять стеблей изогнулись къ свѣту, одинъ въ обратномъ направленіи, два — въ стороны.	Девять стеблей изогнулись отъ свѣта; 2 — въ стороны.	Наиболѣе слабые изгибы. Семь стеблей изогнулись отъ свѣта, три — въ стороны.

правленію отъ IV культуры къ I). Въ общемъ отношеніе стеблей къ геліотропическому воздѣйствію и здѣсь вполнѣ соотвѣтствовало тому, какое наблюдалось въ предыдущихъ опытахъ.

---

1) Это относилось къ большинству стеблей въ каждой культурѣ но не ко всѣмъ. При пересадкѣ они всѣ были оріентированы одинаково, но потомъ вслѣдствіе закручиванія многіе измѣнили свое положеніе.

Выводы.

Сопоставленіе полученныхъ мною результатовъ съ данными опытовъ Osw. Richter'a, Molisch'a и Körnicke даетъ основаніе полагать, что стебли вики, гороха и другихъ растеній, относящихся подобно имъ къ вліянію этилена, при боковомъ освѣщеніи въ лабораторномъ воздухѣ направляются горизонтально даже къ самымъ слабымъ источникамъ свѣта (не вызывающимъ геліотропической реакціи у нормальныхъ стеблей) потому, что форма геотропизма ихъ измѣняется. Они становятся трансверсально геотропичными и, стремясь перейти изъ положенія неустойчиваго равновѣсія, какимъ для нихъ является теперь вертикальное направленіе, въ положеніе покоя, образуютъ изгибы въ ту сторону, куда направитъ ихъ свѣтовое воздѣйствіе, играющее роль толчка. Но эти результаты становятся совершенно необъяснимыми, если принять воззрѣніе названныхъ авторовъ, по которому въ лабораторномъ воздухѣ геотропическая чувствительность утрачивается или ослабѣваетъ, тогда какъ геліотропическая — чрезвычайно обостряется.

* * *

Послѣ того какъ описанные опыты были закончены и о результатахъ ихъ было сдѣлано мною сообщеніе въ Ботаническомъ Отдѣленіи Общ. Ест. при СПБ. Унив., появилась статья Guttenberg'a[1]), въ которой авторъ, возражая Osw. Richter'y по вопросу о взаимодѣйствіи геотропизма и геліотропизма въ лабораторномъ воздухѣ, приводитъ опыты, доказывающіе по его мнѣнію, что геліотропическая чувствительность подъ вліяніемъ вредныхъ примѣсей воздуха не только не усиливается, но даже ослабѣваетъ, насколько можно о томъ судить по времени реакціи. Проростки вики, очень молодые (около $1\frac{1}{2}$ см. длиною), вращаемые на клиностатѣ въ вертикальной плоскости въ чистомъ и въ лабораторномъ воздухѣ, освѣщались въ горизонтальномъ направленіи газовой Ауэровской горѣлкой, помѣщенной за матовымъ стекломъ, на такомъ разстояніи, чтобы интенсивность освѣщенія равнялась 0,0025 МК.

Результатъ былъ тотъ, что въ лабораторномъ воздухѣ изгибы появлялись приблизительно на 8 часовъ позднѣе, чѣмъ въ чистомъ воздухѣ. Заключеніе автора: «dass auch das heliotropische Verhalten der Wicken-Epikotyle durch Laboratoriumsluft eine Hemmung erfährt» (l. c., p. 489) этимъ опытомъ, несомнѣнно, доказывается, но, вѣроятно, угнетающее дѣйствіе лабораторнаго воздуха въ данномъ случаѣ было еще сильнѣе, чѣмъ можно заключить по результатамъ опыта. Такъ какъ на концахъ стеблей появились утолщенія, то, несомнѣнно, примѣсь газа была настолько велика, что могла вызвать превращеніе отрицательнаго геотропизма въ трансверсальный, а въ такомъ случаѣ вращеніе на клиностатѣ не устраняло направляющаго вліянія силы тяжести: какъ выше было показано, въ подобныхъ условіяхъ

1) Guttenberg, H. Ritter von. Über das Zusammenwirken von Geotropismus und Heliotropismus und die tropistische Empfindlichkeit in reiner u. unreiner Luft. Jahrb. f. Wiss. Bot. Bd. 47, p. 482 ff. 1910.

стебли даютъ изгибы и въ темнотѣ, направляясь параллельно оси вращенія; слѣдовательно, здѣсь вліяніе силы тяжести содѣйствовало геліотропической реакціи.

Кромѣ того, Guttenberg сдѣлалъ попытку нѣсколько уяснить вліяніе лабораторнаго воздуха и на геотропическій процессъ. Онъ поставилъ себѣ задачей опредѣлить, обращается ли угнетающее дѣйствіе на чувствительность къ геотропическому раздраженію или на способность къ реакціи, имѣя при этомъ въ виду только обычно свойственный стеблямъ отрицательный геотропизмъ. Опыты состояли въ слѣдующемъ. Этіолированные проростки вики, развивавшіеся въ оранжереѣ, тамъ же приводились на короткое время ($^1/_2$ часа) въ горизонтальное положеніе, а затѣмъ вновь устанавливались вертикально, одни — въ помѣщеніи лабораторіи, другіе — въ оранжереѣ. Въ обоихъ случаяхъ изгибы послѣдѣйствія образовались въ одно и то же время (черезъ 35—55 мин.). Но если наоборотъ растенія подвергались дѣйствію такой же геотропической индукціи въ лабораторномъ воздухѣ, послѣ того какъ предварительно пробыли въ немъ 1—2 часа въ вертикальномъ положеніи, то послѣдѣйствіе не обнаруживалось, хотя они и были перенесены въ чистый воздухъ.

Отсюда Guttenberg заключаетъ, что «у Vicia sativa способность къ геотропической реакціи не нарушается, по крайней мѣрѣ при кратковременномъ пребываніи въ лабораторномъ воздухѣ, напротивъ — геотропическая чувствительность въ этой средѣ немедленно угасаетъ».

Это заключеніе недостаточно обосновано даже и по отношенію къ отрицательному геотропизму. Такъ какъ чувствительность сама по себѣ недоступна изслѣдованію и о ней приходится судить только по реакціи, то чрезвычайно трудно (по моему мнѣнію, даже едва ли возможно) рѣшить вопросъ о томъ, какая фаза геотропическаго процесса въ данномъ случаѣ нарушается, особенно при такой сложности условій.

Отсутствіе изгибовъ послѣ индукціи въ лабораторномъ воздухѣ въ горизонтальномъ положеніи доказываетъ только, что не было воспринято настолько сильнаго геотропическаго раздраженія, чтобы оно могло вызвать реакцію, но остается совершенно неизвѣстнымъ, отчего это произошло: оттого ли, что геотропическая чувствительность была совершенно утрачена, или (въ связи съ ослабленіемъ ея) вслѣдствіе недостаточной продолжительности индукціи, или же, наконецъ, вслѣдствіе превращенія отрицательнаго геотропизма въ трансверсальный. Въ этомъ послѣднемъ случаѣ стебли, приведенные въ горизонтальное направленіе, находились въ положеніи покоя и никакого раздраженія не испытывали, что слѣдуетъ признать наиболѣе вѣроятнымъ, на основаніи результатовъ описанныхъ выше моихъ опытовъ.

Одновременное образованіе изгибовъ послѣдѣйствія въ чистомъ и въ лабораторномъ воздухѣ въ отвѣтъ на раздраженіе, воспринятое въ то время, когда растенія находились въ оранжереѣ, также не можетъ быть въ обоихъ случаяхъ отнесено въ полной мѣрѣ на счетъ отрицательнаго геотропизма: возможно, что въ лабораторномъ воздухѣ образованіе индуцированнаго изгиба встрѣтило содѣйствіе со стороны трансверсальнаго геотропизма вслѣдствіе измѣненія геотропическихъ свойствъ стеблей и этимъ до нѣкоторой степени ком-

пенсировалось угнетеніе способности къ реакціи. Кратковременность пребыванія въ лабораторномъ воздухѣ не имѣла рѣшающаго значенія, такъ какъ въ другомъ опытѣ автора проростки, пробывшіе всего ½ часа въ лабораторномъ воздухѣ (въ горизонтальномъ положеніи) и перенесенные затѣмъ въ оранжерею, почти всѣ не дали изгибовъ послѣдѣйствія, т. е. слѣдовательно, успѣли пріобрѣсти новыя геотропическія свойства.

Ранѣе произведенные мною опыты (правда, надъ другимъ растеніемъ, а именно Tropaeolum majus) показали, что весьма кратковременная предварительная индукція въ чистомъ воздухѣ (всего въ продолженіи 10 мин.) можетъ играть роль толчка, опредѣляющаго направленіе изгибовъ изъ вертикальнаго положенія, если подвергнуть стебли вліянію этилена. Подобные изгибы едва ли можно считать выраженіемъ только одного послѣдѣйствія, такъ какъ это привело бы къ заключенію, что послѣдѣйствіе подъ вліяніемъ вредныхъ газовъ усиливается, чему, какъ мы видѣли, противорѣчатъ результаты непосредственныхъ наблюденій.

Такимъ образомъ изгибы, которые Guttenberg принимаетъ за выраженіе послѣдѣйствія, должны считаться результатомъ совмѣстнаго вліянія предшествующей индукціи въ чистомъ воздухѣ и трансверсальнаго геотропизма въ лабораторномъ. Впрочемъ, опыты не настолько подробно описаны, что бы можно было съ увѣренностью дать имъ полное толкованіе; такъ, напримѣръ, не указано весьма важное условіе: какой стороной стебли были обращены кверху во время индукціи, а также не упомянуто о возрастѣ проростковъ.

ЗАКЛЮЧЕНІЕ.

О характерѣ и значеніи установленныхъ измѣненій геотропизма.

1. Обзоръ результатовъ.

Фактическіе результаты наблюденій и опытовъ, произведенныхъ для опредѣленія внутреннихъ причинъ стремленія къ горизонтальному росту, которое обнаруживаютъ стебли гороха, вики, настурціи и нѣкоторыхъ другихъ, названныхъ выше растеній подъ вліяніемъ лабораторнаго воздуха, свѣтильнаго газа, ацетилена и этилена, сводятся къ слѣдующему.

Это стремленіе проявляется въ томъ, что стебли проростковъ, развивающихся въ воздухѣ съ примѣсью названныхъ газовъ, стелятся по поверхности почвы или же растутъ горизонтально на нѣкоторой глубинѣ, не выходя на поверхность, при чемъ въ зависимости отъ положенія сѣмени они оказываются или изогнутыми подъ нѣкоторымъ опредѣленнымъ угломъ, или прямыми, соотвѣтственно тому, какъ былъ направленъ зародышъ относительно горизонта. Стебель остается прямымъ, если зародышъ былъ направленъ горизонтально, и образуетъ соотвѣтствующей величины изгибъ, приводящій его въ горизонтальное положеніе, если зародышъ былъ направленъ какъ-нибудь иначе. Если онъ направленъ вертикально, то иногда стебель выходитъ сначала на поверхность почвы и растетъ прямо вверхъ, но, достигнувъ длины 1—2 см., изгибается приблизительно подъ прямымъ угломъ [1]).

Стебли нормальныхъ проростковъ (т. е. развивавшихся въ чистомъ воздухѣ и направлявшихся вертикально), подвергнутые вліянію лабораторного воздуха или ничтожно малаго количества одного изъ тѣхъ газовъ, содержаніемъ которыхъ обусловливаются его свойства, образуютъ изгибы въ зонѣ роста, вслѣдствіе чего верхнія части ихъ принимаютъ горизонтальное направленіе.

Прежде всего были изслѣдованы свойства и причины образованія этого перваго изгиба, а затѣмъ была приблизительно опредѣлена форма геотропизма стеблей, растущихъ въ теченіе долгаго времени въ воздухѣ съ примѣсью этилена.

Первый изгибъ, который образуютъ нормальные проростки, переходя отъ вертикальнаго направленія къ горизонтальному подъ вліяніемъ лабораторнаго воздуха или дѣйствующихъ началъ его, можетъ быть оріентированъ различно относительно плоскости симметріи стебля. Въ большинствѣ случаевъ онъ направляется на спинную сторону проростка, но нерѣдко также встрѣчаются изгибы впередъ или на одну изъ боковыхъ сторонъ, или же

1) Это происходитъ, насколько я могъ замѣтить, при относительно маломъ содержаніи дѣйствующихъ газовъ въ окружающемъ воздухѣ.

въ какомъ-нибудь промежуточномъ направленіи. Поэтому причиною образованія его не можетъ быть волнообразная нутація, видоизмѣненная усиленіемъ ея второй фазы, такъ какъ въ такомъ случаѣ стебли должны были бы изгибаться исключительно на спинную сторону.

Изгибаясь стебель можетъ преодолѣть большое сопротивленіе, такъ какъ опыты показываютъ, что изгибы образуются даже и въ томъ случаѣ, если передъ тѣмъ, какъ проростки будутъ подвергнуты вліянію этилена, засыпать ихъ крупнымъ пескомъ. Поэтому нельзя предполагать, чтобы концы стеблей пассивно свѣшивались вслѣдствіе временнаго ослабленія тургора въ силу токсическаго дѣйствія этилена.

Равнымъ образомъ нельзя видѣть причину образованія изгибовъ въ аэротропизмѣ, такъ какъ они происходятъ и въ однородной атмосферѣ, окружающей стебель со всѣхъ сторонъ, и такъ какъ не обнаруживалось направляющаго вліянія газовъ въ тѣхъ опытахъ, въ которыхъ можно было предполагать наличность условій для временнаго осуществленія его.

Величина изгиба опредѣляется тѣмъ направленіемъ, которое имѣетъ стебель въ то время, когда онъ подвергается дѣйствію лабораторнаго воздуха или этилена: если стебель направленъ вертикально вверхъ или внизъ, то онъ изгибается подъ прямымъ угломъ, если же онъ образуетъ какой либо иной уголъ съ горизонтомъ выше или ниже его, то уголъ возникающаго изгиба составляетъ приблизительно дополненіе до прямого для угла отклоненія отъ линіи отвѣса, такъ какъ концы стеблей всегда достигаютъ горизонтальнаго направленія. Стебли, находящіеся въ горизонтальномъ положеніи въ моментъ дѣйствія этилена (или лабораторнаго воздуха), не даютъ изгибовъ.

Отсюда слѣдуетъ, что вліяніе силы тяжести при образованіи изгиба имѣетъ существенное значеніе. Участіе ея въ данномъ случаѣ можетъ проявиться или во взаимодѣйствіи отрицательнаго геотропизма съ автономной нутаціей, или же черезъ посредство одного только трансверсальнаго геотропизма. Однако нельзя представить себѣ такую форму спонтанной нутаціи, которая давала бы возможность объяснить, при наличности отрицательнаго геотропизма, отъ чего зависитъ въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ хотя бы только направленіе изгиба, помимо связи между величиною его и положеніемъ проростка относительно горизонта, какъ это было подробнѣе разсмотрѣно на стр. 11.

Поэтому становится весьма вѣроятнымъ, что если воздѣйствіе силы тяжести на проростки въ воздухѣ съ примѣсью этилена проявляется такъ, какъ устанавливаютъ приведенные выше наблюденія и опыты, то это происходитъ только въ силу измѣненія геотропическихъ свойствъ стеблей.

На клиностатѣ, вращаемые вокругъ горизонтальной оси и укрѣпленные параллельно ей, проростки не изгибаются подъ вліяніемъ этилена, хотя и пріобрѣтаютъ утолщенія, характерныя для дѣйствія вредныхъ газовъ лабораторнаго воздуха. Этимъ доказывается, что ни волнообразная нутація, ни вообще какія либо спонтанныя измѣненія роста на противоположныхъ сторонахъ стебля даже при отсутствіи противодѣйствія со стороны направляющаго воздѣйствія силы тяжести не достигаютъ такой интенсивности, чтобы привести къ образованію изгибовъ, подобныхъ изслѣдуемымъ.

На клиностатѣ въ чистомъ воздухѣ стебли также сохраняютъ приданное имъ направленіе.

Изгибы оріентируются различно, и это наблюдается даже въ одной и той же культурѣ и у проростковъ, находящихся на одинаковыхъ стадіяхъ развитія. Долгое время не представлялось возможности опредѣлить, отъ чего это зависитъ. Никакой связи между направленіемъ изгиба и положеніемъ срединной плоскости или вообще какими либо особенностями строенія и развитія проростка установить не удавалось. Однако возможна такая постановка опыта, при которой выборъ проросткомъ того или иного направленія долженъ рѣшить вопросъ о природѣ изгиба. Для этого достаточно, подвергая стебли дѣйствію этилена, нѣсколько отклонить ихъ изъ вертикальнаго положенія. Опыты показываютъ, что при этомъ условіи изгибы образуются въ томъ направленіи, куда были наклонены стебли, совершенно независимо отъ того, на какую сторону проростка (относительно плоскости симметріи) придется изгибъ въ каждомъ данномъ случаѣ. Здѣсь, слѣдовательно, наблюдается совершенно такое же отношеніе стеблей къ дѣйствію силы тяжести, какое обнаруживаютъ тѣ органы растеній, которымъ въ естественныхъ условіяхъ свойственъ трансверсальный геотропизмъ, и притомъ иначе, чѣмъ превращеніемъ отрицательнаго геотропизма въ трансверсальный подобное отношеніе объяснено быть не можетъ (относящіяся сюда соображенія подробно изложены на стр. 23 и 24). Этотъ результатъ по моему мнѣнію имѣетъ силу несомнѣннаго доказательства.

Таковы свойства перваго изгиба. На основаніи изложеннаго слѣдуетъ заключить, что въ моментъ воздѣйствія этилена на проростки, ранѣе развивавшіеся въ чистомъ воздухѣ, происходитъ качественное измѣненіе геотропизма стеблей.

Слѣдовало выяснить, сохраняется ли вновь пріобрѣтенная форма геотропизма при дальнѣйшемъ пребываніи растеній въ воздухѣ съ примѣсью этилена или веществъ, дѣйствующихъ подобно ему.

Опыты показываютъ, что проростки, направленные горизонтально, въ воздухѣ съ примѣсью этилена продолжаютъ расти, не измѣняя приданнаго имъ направленія, въ теченіе долгаго времени (опыты длились недѣлю и болѣе). Если же вывести ихъ изъ этого новаго положенія покоя, то они возвращаются къ нему, образуя изгибы. Здѣсь такъ же, какъ это было указано выше для перваго изгиба, стебли изгибаются на любую сторону (относительно срединной плоскости) и соотвѣтственно углу отклоненія настолько, чтобы вновь направиться горизонтально. Особеннаго вниманія заслуживаетъ то, что и здѣсь, если стебли приводятся въ положеніе близкое къ вертикальному, то направленіе изгиба опредѣляется не положеніемъ плоскости симметріи, а отклоненіемъ стебля отъ вертикальной линіи, чѣмъ устанавливается (въ связи съ положеніемъ покоя) форма геотропизма.

При изслѣдованіи геотропическихъ свойствъ нерѣдко важное значеніе придается наличности явленій послѣдѣйствія. При долговременномъ пребываніи растеній въ воздухѣ съ примѣсью этилена едва ли можно было надѣяться получить положительные результаты (относящіяся сюда соображенія изложены на стр. 42 и 54). Дѣйствительно, какъ показали опыты, послѣдѣйствіе (и именно въ томъ видѣ, какъ оно обусловливается трансверсальнымъ

геотропизмомъ) хотя и можетъ быть обнаружено, но лишь при особенно благопріятныхъ условіяхъ, т. е. когда стебли подвергаются достаточно продолжительной индукціи (почти до начала образованія изгибовъ) въ воздухѣ съ примѣсью этилена, реакція же происходитъ на клиностатѣ въ чистомъ воздухѣ.

Трансверсально-геотропичные органы, помѣщенные на горизонтальную ось клиностата, но не параллельно ей, а подъ какимъ-либо угломъ, кромѣ прямого, должны давать изгибы по направленію къ оси, въ сторону меньшаго угла (см. стр. 59 и слѣд.). До настоящаго времени, на тѣхъ объектахъ, которымъ свойственъ трансверсальный геотропизмъ при нормальныхъ условіяхъ, этого не удавалось наблюдать. Въ моихъ опытахъ проростки гороха и настурціи, укрѣпленные подъ угломъ къ горизонтальной оси и подвергнутые вліянію этилена, изгибались къ ней (сводъ результатовъ на стр. 74). Слѣдуетъ отмѣтить, что изгибы были получены (въ опытѣ 99-мъ) и у такихъ проростковъ, которые передъ тѣмъ въ теченіе долгаго времени уже находились въ воздухѣ съ примѣсью этилена: въ данномъ случаѣ измѣнился не составъ окружающей атмосферы, но характеръ воздѣйствія силы тяжести, а именно стебли были подвергнуты въ противоположныхъ положеніяхъ вліянію перемежающейся геотропической индукціи, которая должна была бы остаться безъ послѣдствій, если бы стебли сохраняли отрицательный геотропизмъ или же совершенно утратили чувствительность къ силѣ тяжести, и наоборотъ могла привести къ образованію изгибовъ въ случаѣ превращенія отрицательнаго геотропизма въ трансверсальный, что и наблюдалось въ дѣйствительности.

Было высказано мнѣніе (H. Molisch'емъ, къ которому присоединились Osw. Richter и M. Koernicke), что подъ вліяніемъ лабораторнаго воздуха геотропическая чувствительность проростковъ ослабѣваетъ или совершенно утрачивается, тогда какъ геліотропическая— наоборотъ чрезвычайно усиливается. Опыты, произведенные мною для провѣрки этого вывода, показали, что дѣйствительно въ воздухѣ съ примѣсью этилена стебли вики и гороха изгибаются подъ прямымъ угломъ (изъ вертикальнаго положенія) къ такому слабому источнику свѣта, который у стеблей, находящихся въ чистомъ воздухѣ, на томъ же разстояніи, вызываетъ лишь ничтожное уклоненіе отъ линіи отвѣса, но въ то же время оказалось, что достаточно немного только наклонить проростки, подвергнутые вліянію этилена, на тѣневую сторону (разумѣется, помѣщая вершины ихъ на томъ же разстояніи отъ источника свѣта, какъ въ первомъ случаѣ), чтобы изгибъ направился не къ свѣту, а въ противоположную сторону. Далѣе, если освѣтить проростки на томъ же самомъ разстояніи и тѣмъ же источникомъ свѣта, но сверху, и притомъ направить ихъ: одни — вертикально, другіе—подъ различными углами выше горизонта и третьи — горизонтально, то въ послѣднемъ случаѣ изгибовъ не образуется, а въ первыхъ двухъ — концы стеблей изгибаются книзу (достигая горизонтальнаго направленія), т. е. въ сторону, противоположную той, откуда на нихъ падалъ свѣтъ. Если, подвергнувъ нормальные проростки дѣйствію этилена, освѣтить ихъ съ одной стороны въ теченіе короткаго времени (5 мин.) сильнымъ источникомъ свѣта, при чемъ одни изъ нихъ нѣсколько наклонить въ противоположную сторону,

а другіе оставить въ вертикальномъ положеніи, то по прошествіи нѣкотораго времени эти послѣдніе изогнутся въ ту сторону, откуда на нихъ падалъ свѣтъ, тогда какъ тѣ, которые были слегка наклонены въ обратномъ направленіи, дадутъ изгибы въ сторону, противоположную той, съ которой они были освѣщены. На основаніи этихъ опытовъ, я полагаю, слѣдуетъ заключить, что кажущееся чрезвычайное усиленіе геліотропической чувствительности, которое обнаруживается въ тѣхъ случаяхъ, когда одностороннему воздѣйствію свѣта проростки подвергаются, находясь въ воздухѣ, содержащемъ примѣсь этилена (слѣдовательно, также и въ лабораторномъ), *въ вертикальномъ положеніи*, — зависитъ отъ того, что при данныхъ условіяхъ геліотропическая индукція играетъ роль толчка, выводящаго стебли изъ неустойчиваго геотропическаго равновѣсія, которое и помимо него рано или поздно было бы нарушено, такъ какъ и въ темнотѣ стебли принимаютъ горизонтальное направленіе въ силу пріобрѣтаемаго ими трансверсальнаго геотропизма. Вліяніе свѣта только опредѣляетъ направленіе изгиба и содѣйствуетъ его образованію, если свѣтъ достаточно силенъ.

Какъ при образованіи перваго изгиба подъ вліяніемъ этилена, такъ и въ тѣхъ случаяхъ, когда стебли послѣ долговременнаго пребыванія въ воздухѣ съ примѣсью этилена выводились изъ горизонтальнаго положенія, обнаружилась одна характерная особенность. Она состоитъ въ томъ, что стебли, направленные ниже горизонта, изгибаются гораздо медленнѣе, чѣмъ отклоненные на такой же уголъ отъ положенія покоя кверху. Подобное же различіе въ реакціи на геотропическое раздраженіе въ соотвѣтствующихъ другъ другу противоположныхъ направленіяхъ выше и ниже горизонта было указано и для тѣхъ органовъ растеній, которымъ въ естественныхъ условіяхъ свойственъ трансверсальный геотропизмъ.

Если стебли, сохранявшіе въ воздухѣ съ примѣсью этилена горизонтальное направленіе въ теченіе долгаго времени или направленные передъ тѣмъ вертикально и изогнувшіеся подъ прямымъ угломъ, помѣстить въ чистый воздухъ, то концы ихъ очень скоро даютъ крутые изгибы вверхъ. Такъ было, напр., въ опытѣ **87a** (табл. I, рис. 9). Матеріаломъ для него послужили проростки опыта 87-го, находившіеся передъ тѣмъ въ теченіе 5 сутокъ въ воздухѣ съ примѣсью этилена, при чемъ въ четырехъ культурахъ стебли были направлены горизонтально и сохраняли это направленіе, а въ одной (контрольной) имѣли уже изгибы изъ вертикальнаго направленія подъ прямымъ угломъ. Послѣ того какъ въ колокола, заключавшіе культуры, былъ введенъ чистый воздухъ, концы стеблей рѣзко изогнулись кверху и затѣмъ росли вертикально. Культуры были сфотографированы черезъ 2 сутокъ.

Такой же результатъ былъ полученъ въ опытѣ **109a** надъ проростками Tropaeolum majus и въ опытѣ **143a** надъ проростками Vicia sativa. У вики было замѣчено, что изгибы, недавно образовавшіеся, могутъ въ чистомъ воздухѣ уменьшиться или даже и совсѣмъ выровниться[1]). Быть можетъ, эта особенность вики находится въ связи съ тѣмъ,

1) Культура находилась въ воздухѣ съ примѣсью этилена въ теченіе 19 часовъ. За это время изгибы достигли окончательной величины. Послѣ введенія чистаго воздуха у одного стебля изгибъ совершенно выровнился, у двухъ — остался чуть замѣтный слѣдъ, у 12 остальныхъ — первые изгибы значительно уменьшились и образовались въ другомъ мѣстѣ новые, вслѣдствіе чего концы стеблей направились вертикально.

что у нея по мѣрѣ развитія зона роста все увеличивается, простираясь на нѣсколько междоузлій [1]).

На основаніи изложенныхъ результатовъ, я полагаю, можно считать доказаннымъ, что подъ вліяніемъ этилена, ацетилена, свѣтильнаго газа и лабораторнаго воздуха происходитъ качественное измѣненіе геотропическихъ свойствъ стеблей, т. е. отрицательный геотропизмъ превращается въ трансверсальный, такъ какъ во всѣхъ обстоятельствахъ, когда свойства эти могутъ проявиться, стебли, подвергнутые вліянію лабораторнаго воздуха или дѣйствующихъ началъ его, реагируютъ, какъ трансверсально геотропичные органы. По возобновленіи же нормальныхъ условій прежняя форма геотропизма возстановляется.

Качественныхъ измѣненій геотропизма такого рода, т. е. происходящихъ подъ вліяніемъ химическихъ воздѣйствій, до сихъ поръ еще не было указано, но они встрѣчаютъ аналогію въ нѣкоторыхъ явленіяхъ, относящихся къ этой области.

2. Литературныя данныя по вопросу о качественныхъ измѣненіяхъ геотропизма.

Въ настоящее время извѣстно уже большое число случаевъ качественныхъ измѣненій геотропизма, вызываемыхъ различными внѣшними воздѣйствіями или происходящихъ, повидимому, произвольно. Но, какъ въ литературныхъ обзорахъ, такъ и при теоретическомъ обсужденіи, въ эту группу соединяютъ нерѣдко явленія, глубоко различныя между собою. На ряду съ тѣми случаями, въ которыхъ проявляются дѣйствительныя превращенія геотропизма, т. е. когда та же самая часть растенія подъ вліяніемъ измѣненія внѣшнихъ условій обнаруживаетъ иное, чѣмъ прежде, отношеніе къ силѣ тяжести, сюда причисляютъ и такіе, когда, напр., изъ почки даннаго стебля развивается новый побѣгъ, обладающій иными морфологическими и геотропическими свойствами, чѣмъ тотъ, отъ котораго онъ произошелъ (какъ это наблюдается при развитіи цвѣтущихъ стеблей изъ почекъ корневища). Конечный результатъ и въ тѣхъ, и въ другихъ случаяхъ получится одинаковый въ томъ смыслѣ, что мы будемъ имѣть стеблевой органъ, отличающійся по формѣ геотропизма отъ тѣхъ междоузлій, которыя составляютъ болѣе старую часть его, но едва ли нужно указывать, что физіологическія явленія, лежащія въ основѣ того и другого процесса, совершенно различны.

Это смѣшеніе понятій зависитъ до нѣкоторой степени отъ того, что относящіеся сюда случаи описываются авторами слишкомъ поверхностно. Превращенія геотропизма не были предметомъ спеціальныхъ, подробныхъ изслѣдованій. Они наблюдались и описывались между прочимъ. Въ большинствѣ случаевъ указывалось только, что при извѣстномъ измѣненіи условій измѣняется и направленіе того или другого органа относительно горизонта, но

1) Ротертъ, В. О геліотропизмѣ. Казань. 1893, стр. 144.

оставалось невыясненнымъ, въ какой мѣрѣ и какимъ образомъ въ этомъ принимаетъ участіе вліяніе силы тяжести, т. е. измѣняются ли, и какъ именно, геотропическія свойства объекта. Поэтому иногда по описаніямъ совершенно нельзя себѣ представить, какія именно явленія наблюдалъ авторъ, такъ какъ весьма часто, упоминая, что при такихъ то обстоятельствахъ направленіе даннаго органа измѣнилось, опускаютъ весьма важныя подробности, напр. не указываютъ даже и того, въ теченіе какого времени это произошло, между тѣмъ какъ иногда на счетъ измѣненія геотропическихъ свойствъ относятъ образованіе изгибовъ, достигающихъ полнаго развитія лишь по прошествіи цѣлаго года или даже нѣсколькихъ лѣтъ.

Среди тѣхъ измѣненій роста и развитія, которыя описываются, какъ превращенія геотропизма, можно установить слѣдующія группы:

1) измѣненія геотропическихъ свойствъ одной и той же зоны роста, выражающіяся въ томъ, что при различныхъ условіяхъ та же самая часть органа реагируетъ различно;

2) измѣненія геотропизма въ связи съ морфологическими измѣненіями побѣга [1]);

3) образованіе новаго побѣга, съ иными морфологическими свойствами, чѣмъ имѣлъ тотъ, отъ котораго онъ произошелъ.

Соотвѣтственно этимъ тремъ рубрикамъ и будутъ сгруппированы въ дальнѣйшемъ изложеніи литературныя данныя. Но тѣ изъ нихъ, которыя относятся къ явленіямъ замѣны погибшей или намѣренно удаленной вершины главной оси боковою, будутъ выдѣлены въ особую (четвертую) группу, такъ какъ въ нихъ нерѣдко слишкомъ трудно выяснить характеръ измѣненій геотропизма, а иногда даже и то, измѣняются ли при этомъ геотропическія свойства какихъ-либо частей вѣтви, замѣняющей главную ось.

I. Измѣненія геотропическихъ свойствъ опредѣленной зоны органа.

§ 1. Измѣненія геотропическихъ свойствъ въ зависимости отъ величины дѣйствующей силы.

Выдѣлить явленія, относящіяся къ первой группѣ, представляющія наибольшій интересъ въ теоретическомъ отношеніи, чрезвычайно трудно по недостаточной полнотѣ описаній.

Первыя опредѣленныя указанія относительно способности одной и той же зоны роста реагировать различно на геотропическое раздраженіе въ зависимости отъ внѣшнихъ

---

1) Кажущіяся самостоятельными измѣненія геотропическихъ свойствъ, происходящія по мѣрѣ роста и развитія органа, но безъ такихъ видимыхъ перемѣнъ въ строеніи, съ которыми можно было бы связывать появленіе новыхъ геотропическихъ свойствъ, вѣроятно, слѣдуетъ отнести сюда же, такъ какъ въ сущности намъ совершенно неизвѣстны тѣ структуры, отъ которыхъ зависитъ форма геотропизма, въ данномъ же случаѣ превращеніе геотропизма наступаетъ всегда въ извѣстной фазѣ развитія, и поэтому возможно, что въ дѣйствительности здѣсь совершаются перемѣны строенія, играющія извѣстную роль. Впрочемъ, относящіяся сюда наблюденія, какъ далѣе будетъ указано, оспаривались по существу, такимъ образомъ разсуждать о нихъ можно только предположительно.

условій дали извѣстные опыты Sachs'a[1]). Онъ нашелъ, что подъ вліяніемъ центробѣжной силы, превышающей по величинѣ силу тяжести, боковые корни направляются подъ меньшимъ угломъ къ радіусу окружности, по которой данный объектъ вращается, чѣмъ въ обычныхъ условіяхъ относительно направленія силы тяжести. При этомъ, чѣмъ большей величины достигала центробѣжная сила, тѣмъ ближе къ ея направленію росли боковые корни. Какъ извѣстно, Sachs полагалъ, что боковымъ корнямъ свойственъ положительный геотропизмъ, но въ болѣе слабой степени, чѣмъ главному корню, и что поэтому только они и не достигаютъ отвѣснаго направленія. Въ результатахъ опытовъ съ центробѣжной силой онъ видѣлъ подтвержденіе своихъ взглядовъ: чѣмъ сильнѣе было ея воздѣйствіе, тѣмъ болѣе эффектъ его приближался къ тому, что наблюдается на главныхъ корняхъ.

Такъ какъ Czapek[2]) показалъ, что боковые корни, отклоненные книзу изъ своего обычнаго положенія, возвращаются къ нему, образуя изгибы, удаляющіе ихъ отъ направленія силы тяжести, то надо признать, что «предѣльный уголъ (Grenzwinkel)» Sachs'a соотвѣтствуетъ положенію геотропическаго равновѣсія и что, слѣдовательно, въ опытахъ его съ центробѣжной силой, по мѣрѣ ея увеличенія, измѣнялось геотропическое настроеніе боковыхъ корней, т. е. они пріобрѣтали новую форму геотропизма. Такое именно значеніе и придаютъ теперь результатамъ опытовъ Sachs'a. Но условія ихъ были не таковы, чтобы всякое другое толкованіе ихъ было невозможно. Прежде всего надо обратить вниманіе на слѣдующее обстоятельство: какъ видно на рисункѣ (l. c., p. 607) и какъ упомянуто въ подписи къ нему, нижній конецъ главнаго корня (а также и стебель) были отрѣзаны. Эта операція уже сама по себѣ вызываетъ у боковыхъ корней образованіе изгибовъ, которые приближаютъ ихъ къ направленію силы тяжести (въ данномъ же случаѣ — къ направленію центробѣжной силы). Кромѣ того, наряду съ усиленіемъ направляющаго воздѣйствія здѣсь могло быть слишкомъ много различныхъ вліяній, съ которыми связаны перемѣны направленія боковыхъ корней. Вообще направленіе ихъ чрезвычайно непостоянно. Какъ видно изъ наблюденій Sachs'a, въ положеніи ихъ относительно главнаго корня индивидуальныя различія проявляются весьма сильно. Измѣненія окружающихъ условій оказываютъ большое віяніе; такъ, напр., послѣ поливки боковые корни круто изгибаются книзу (механизмъ этого явленія остается невыясненнымъ), въ опытѣ же на центрифугѣ они смачивались 2—3 раза въ день (впрочемъ, здѣсь они находились во влажномъ воздухѣ, и неизвѣстно, оказываетъ ли въ этомъ случаѣ смачиваніе такое же дѣйствіе, какъ и поливка земли). Далѣе, измѣненія температуры также не проходятъ безслѣдно (при повышеніи ея предѣльный уголъ уменьшается, какъ это замѣтилъ и Sachs), здѣсь же колебанія ея были значительны (отъ 18° до 25°). При томъ еще слѣдуетъ замѣтить, что отношеніе боковыхъ корней къ внѣшнимъ воздѣйствіямъ чрезвычайно измѣнчиво: то они оказываются весьма чувствительными, то наоборотъ относятся совершенно безразлично.

---

1) Sachs, J. Ueber das Wachsthum d. Haupt- und Nebenwurzeln. Arb. d. bot. Inst. Würzburg. Bd. I. 1874.

2) Czapek, Fr. d. Ueber d. Richtungsursachen d. Seitenwurzeln u. s. w. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. in Wien. Bd. 104. Abth. I, p. 1212, 1224, 1257. 1895.

онъ признаетъ, здѣсь не наблюдалось. Что же касается причины образованія отрицательныхъ изгибовъ, то о природѣ ихъ трудно судить въ виду того, что условія опытовъ были слишкомъ сложны и неблагопріятны (проростки вращались въ горизонтальной плоскости, причемъ они помѣщались въ латунномъ пріемникѣ, обильно смоченномъ водою и подогрѣвавшемся снизу пламенемъ газовой горѣлки, прикрытымъ сѣткой), но, полагаю, вопреки мнѣнію Jost'а, было бы преждевременно считать доказаннымъ, что эти изгибы являются выраженіемъ отрицательнаго геотропизма.

§ 2. *Превращенія геотропизма подъ вліяніемъ свѣта.*

Гораздо болѣе опредѣленные и однообразные результаты были получены относительно измѣненія геотропическихъ свойствъ подъ вліяніемъ свѣта. Первыми и весьма существенными свѣдѣніями по этому вопросу мы обязаны Stahl'ю[1]). Результаты его опытовъ, описанныхъ въ короткой статьѣ, содержащей однако большое количество фактическаго матеріала, убѣдительно доказываютъ, что геотропическія свойства боковыхъ корней и горизонтально растущихъ корневищъ находятся въ зависимости отъ условій освѣщенія.

Корневища Adoxa moschatellina подъ вліяніемъ свѣта направлялись отвѣсно внизъ[2]), у Trientalis europea (въ водной культурѣ) — росли очень косо, почти отвѣсно, у Circaea lutetiana — подъ угломъ 45° съ вертикальнымъ направленіемъ.

Боковые корни различныхъ растеній (Phaseolus multiflorus, Vicia Faba, Zea Mais, Salix alba), образовавшіеся въ темнотѣ и нѣкоторое время спустя подвергнутые дѣйствію свѣта, уклонялись отъ положенія свойственнаго имъ предѣльнаго угла и давали изгибы внизъ.

Направленіе боковыхъ корней измѣнялось очень сильно, какъ это видно изъ слѣдующихъ данныхъ:

Уголъ съ главнымъ корнемъ (направленнымъ отвѣсно внизъ):

Phaseolus multiflorus		Vicia Faba		Zea Mais	
Въ темнотѣ.	На разсѣянномъ свѣтѣ.	Въ темнотѣ.	На свѣту.	Въ темнотѣ.	На свѣту.
130°	— 25°	70°	— 45°	45°	— 20°
80°	— 15°	80°	— 35°	50°	— 25°

1) Stahl, E. Einfluss des Lichtes auf den Geotropismus einiger Pflanzenorgane. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 2, p. 383. 1884. Задолго до того Frank (Die natürliche wagerechte Richtung v. Pflanzentheilen u. ihre Abhängigkeit vom Lichte u. v. d. Gravitation. Leipzig. 1870) указалъ, что нѣкоторые горизонтальные наземные побѣги принимаютъ различное направленіе, смотря по тому, находятся ли они въ темнотѣ или на свѣту, но его наблюденія настолько неполны, что даже относительно наиболѣе важныхъ случаевъ не даютъ возможности судить, въ чемъ именно состояло воздѣйствіе свѣта, т. е. оріентировались ли побѣги относительно направленія лучей, или измѣнялись ихъ геотропическія свойства, и если происходило измѣненіе геотропизма, то не было ли оно связано съ измѣненіемъ морфологическихъ свойствъ побѣга.

2) но геліотропизма они не обнаруживали.

Phaseolus multiflorus Въ темнотѣ. На разсѣянномъ свѣтѣ.	Vicia Faba Въ темнотѣ. На свѣту.	Zea Mais Въ темнотѣ. На свѣту.
80° — 20°	60° — 25°	90° — 50°
90° — 35°	60° — 25°	110° — 70°
90° — 40°		110° — 60°
65° — 15°		
75° — 35°		
75° — 45°		
40° — 10°		

Превращеніе чувствительности происходило чрезвычайно быстро, настолько, что новое положеніе равновѣсія достигалось въ такой же срокъ, въ теченіе котораго давали изгибы растенія, уже ранѣе находившіяся на свѣту и выведенныя изъ положенія покоя, и скорѣе, чѣмъ обнаруживалась реакція на геотропическое раздраженіе въ темнотѣ. Боковые корни проростка Vicia Faba, развивавшагося въ темнотѣ при 30° (въ Саксовскомъ ящикѣ съ косыми стѣнками), изогнулись внизъ уже черезъ 3 часа, когда онъ былъ помѣщенъ въ свѣтлую комнату (при 22°). Корневища, перенесенныя на свѣтъ, давали изгибы въ теченіи нѣсколькихъ часовъ («nach wenigen Stunden»).

Если корневища снова перенести въ темноту, то прежняя форма геотропизма возстановляется, но медленно; впрочемъ, по цифровымъ даннымъ, имѣющимся въ статьѣ, нельзя судить, съ одинаковой скоростью или медленнѣе достигали положенія равновѣсія корневища, перенесенныя въ темноту, по сравненію съ тѣми, которыя все время находились въ темнотѣ и были направлены отвѣсно *внизъ* (слѣдуетъ замѣтить, что изъ этого направленія они возвращаются къ положенію покоя значительно позже, чѣмъ въ томъ случаѣ, если они были удалены отъ него на соотвѣтствующій уголъ кверху).

Czapek[1]) подтвердилъ указанія Stahl'я относительно вліянія свѣта и во многомъ дополнилъ ихъ. Изъ числа полученныхъ имъ результатовъ нѣкоторые чрезвычайно интересны и имѣютъ весьма важное значеніе для теоріи геотропизма, но почему то до сихъ поръ не были оцѣнены въ достаточной мѣрѣ (повидимому, даже и самимъ авторомъ).

Въ его опытахъ боковые корни (кукурузы, тыквы, Vicia Faba) подъ вліяніемъ свѣта давали изгибы въ еще болѣе короткій срокъ, чѣмъ въ опытахъ Stahl'я: у проростковъ, культивируемыхъ въ темнотѣ, за стекломъ Саксовскаго ящика, въ сырыхъ опилкахъ, уже черезъ 2 часа послѣ того, какъ они были выставлены на свѣтъ, боковые корни сильно изгибались внизъ, и концы ихъ достигали того положенія, которое они затѣмъ сохраняли (на свѣту), какъ положеніе новаго предѣльнаго угла относительно направленія силы тяжести. При затемнѣніи возстановлялась прежняя форма геотропизма.

Время реакціи на свѣту и въ темнотѣ было одно и то же, если отклонять корни книзу отъ положенія покоя, но когда они приводились въ косое положеніе выше горизонта, то въ

1) Czapek, Fr. Ueber die Richtungsursachen u. s. w., p. 1245 ff.

темнотѣ они начинали изгибаться гораздо позже, чѣмъ на свѣту. Однако они не становятся (физіологически) дорзивентральными: способность къ реакціи проявлялась одинаково, какой бы стороной они ни были обращены кверху.

Свѣтъ не самъ по себѣ оказываетъ направляющее воздѣйствіе: изгибы вызываются дѣйствіемъ силы тяжести, такъ какъ на клиностатѣ (при вращеніи вокругъ горизонтальной оси) они не происходятъ и такъ какъ безразлично, подвергаются ли проростки вліянію свѣта, падающаго съ одной стороны, или освѣщаются равномѣрно, вращаясь вокругъ вертикальной оси (на площадкѣ клиностата). Весьма интересно указаніе, что качество свѣта не играетъ роли: помѣщавшіеся за синимъ стекломъ боковые корни бобовъ и тыквы реагировали такъ же энергично, какъ и тѣ, которые были закрыты желтымъ стекломъ[1]).

Наконецъ, тѣ опыты Czapek'а, результаты которыхъ, какъ выше было упомянуто, выходятъ далеко за предѣлы поставленной задачи и могутъ имѣть исключительное значеніе для теоріи геотропизма, если будутъ подтверждены, — состояли въ слѣдующемъ. Чтобы опредѣлить, какая часть корня воспринимаетъ вліяніе свѣта (и, слѣдовательно, какая фаза геотропическаго процесса при этомъ измѣняется), — было примѣнено затемнѣніе кончика корня: передъ тѣмъ, какъ культуры были выставлены на свѣтъ, кончики нѣкоторыхъ боковыхъ корней прикрывались станіолевыми колпачками. Оказалось, что всѣ свободные корни изгибались внизъ, тогда какъ тѣ, у которыхъ кончики были затѣнены, не реагировали на освѣщеніе, но продолжали расти въ томъ направленіи, какое имѣли прежде. Этотъ результатъ доказываетъ, что для измѣненія формы геотропизма дѣйствію свѣта долженъ быть подвергнутъ кончикъ корня, а, слѣдовательно, тѣмъ самымъ и то, что геотропическая чувствительность сосредоточена въ кончикѣ корня, такъ какъ зона роста въ обоихъ случаяхъ находилась въ одинаковыхъ условіяхъ, откуда слѣдуетъ, что существуетъ самостоятельный аппаратъ, служащій для воспріятія геотропическаго раздраженія и обособленный отъ реагирующей части корня. Такое мнѣніе было высказано давно, но оно не можетъ считаться общепризнаннымъ, ни тѣмъ болѣе окончательно доказаннымъ[2]).

---

1) Однако эффектъ дѣйствія свѣта нельзя приписывать нагрѣванію, такъ какъ еще Stahl показалъ, что изгибы происходятъ и въ томъ случаѣ, если проростки, культивировавшіеся въ темнотѣ при высокой температурѣ, перенести на свѣтъ въ болѣе холодное помѣщеніе (въ темнотѣ 30°, при свѣтѣ 22°).

2) Раньше Дарвина еще Ciesielski (Unters. über d. Abwärtskrümmung d. Wurzel. Breslau. 1871. Cohn's Beiträge z. Biol. d. Pfl. Bd. I. H. 2. 1872) показалъ, что способность къ образованію геотропическихъ изгибовъ утрачивается, если отрѣзать кончикъ корня («конусъ нарастанія»). Старыя литературныя данныя по этому вопросу (до Czapek'а) собраны и разсмотрѣны критически въ статьѣ Ротерта: «Die Streitfrage über die Function d. Wurzelspitze» Flora. 79. 179. 1894. Czapek (Unters. über Geotrop. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 27, p. 243. 1895) выработалъ методъ, устраняющій необходимость операціи. Massart (Sur l'irritabilité des plantes supérieures. Mém. de l'Ac. r. de Belgique. T. 62. 1902. Recueil de l'Inst. Bot. Léo Errera. T. 6, p. 19. 1906) получилъ результаты, подтверждающіе тотъ же выводъ, еще третьимъ способомъ, но кромѣ возраженій Вахтеля («Къ вопросу о геотропизмѣ корней» Зап. Новор. Общ. Ест. T. 23. 1899), который, примѣняя методъ Czapek'а, не могъ подтвердить его наблюденій, также и въ лабораторіи Oltmanns'а была произведена работа (Richter, Erich. Zur Frage nach d. Function d. Wurzelspitze. Wien. 1902), авторъ которой стремится доказать несостоятельность гипотезы о мозговой функціи кончика корня.

Противорѣчащій результатъ дали также и опыты Piccard'а (Neue Versuche über d. geotrop. Sensibilität der Wurzelspitze. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 40, p. 94. 1904), примѣнившаго чрезвычайно остроумный методъ: онъ подвергалъ корни быстрому вращенію на центробѣжной

Однако никогда еще не было получено доказательствъ въ пользу взглядовъ Ciesielsk'аго и Дарвина съ меньшимъ нарушеніемъ нормальныхъ условій роста и съ бо́льшей убѣдительностью. Кромѣ того, обнаружившаяся здѣсь зависимость формы геотропизма отъ условій дѣятельности воспринимающаго аппарата имѣетъ важное значеніе уже потому, что ранѣе относительно самого процесса воспріятія почти ничего достовѣрнаго не было извѣстно.

Maige[1]), изслѣдуя превращенія ползучихъ наземныхъ побѣговъ въ вертикально стоящіе и наоборотъ, отмѣтилъ нѣсколько случаевъ, когда одна и та же часть стебля въ различныхъ условіяхъ обнаруживала то отрицательный геотропизмъ, то трансверсальный. Такъ, напр., побѣги Glechoma hederacea, растущіе при разсѣянномъ свѣтѣ горизонтально и реагирующіе, какъ трансверсально геотропичные органы, быстро поднимаются, приближаясь къ вертикальному направленію, если ихъ перенести въ темноту. Въ одномъ изъ опытовъ уже черезъ 4 часа два такіе стебля изогнулись кверху на 70°. Подобное же явленіе наблюдалось и на побѣгахъ Potentilla reptans.

Замѣчательно, что при *яркомъ* (солнечномъ) свѣтѣ побѣги растутъ вертикально, какъ и въ темнотѣ, но въ этомъ случаѣ при перемѣнѣ условій направленіе измѣняется гораздо медленнѣе: побѣгъ Stachys silvatica, на разсѣянномъ свѣтѣ росшій въ наклонномъ положеніи подъ угломъ въ 40°, принялъ вертикальное направленіе только черезъ 2 дня послѣ того, какъ растеніе было выставлено на солнце[2]).

Въ естественныхъ условіяхъ превращеніе горизонтальнаго побѣга въ вертикальный или наоборотъ происходитъ медленно, въ связи съ измѣненіемъ ихъ морфологическихъ свойствъ. Условія освѣщенія играютъ важную роль въ этомъ процессѣ. Направленіе измѣняется постепенно, черезъ нѣсколько промежуточныхъ положеній, и каждому изъ нихъ свойственна особая форма геотропизма (выведенные изъ принятаго положенія, стебли возвращаются къ нему), но въ началѣ каждой стадіи морфологическаго превращенія геотропическія свойства побѣга — лабильны; достаточно измѣнить условія освѣщенія, чтобы возстановилась форма геотропизма, свойственная предыдущей стадіи. Вполнѣ опредѣленныхъ результатовъ, доказывающихъ это предположеніе Maige'а, въ

машинѣ, помѣщая ихъ подъ угломъ въ 45° къ оси такимъ образомъ, чтобы кончикъ находился по одну сторону ея, а зона роста по другую, вслѣдствіе чего центробѣжная сила дѣйствовала въ противоположныхъ направленіяхъ на ту и другую часть корня. Haberlandt (Ueber d. Verteil. d. geotrop. Sensibilität in d. Wurzel. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 45, p. 575. 1908), нѣсколько видоизмѣнивъ методъ Piccard'a, показалъ, что посредствомъ его также можно обнаружить преимущественную чувствительность кончика корня, но въ то же время нашелъ, что и зона роста способна воспринимать геотропическое раздраженіе, чѣмъ ослабляется значеніе тѣхъ доводовъ, на основаніи которыхъ заключаютъ о существованіи самостоятельнаго воспринимающаго аппарата, находящагося въ кончикѣ корня и передающаго геотропическое раздраженіе зонѣ роста.

Въ недавнее время Jost (Studien über Geotropismus. I. Die Verteilung der geotropischen Sensibilität in der Wurzelspitze. Zeitschr. f. Bot. Bd. 4, p. 161. 1912) высказалъ мнѣніе, что результаты, полученные Haberlandt'омъ, не оправдываютъ его выводовъ, но на основаніи своихъ опытовъ также пришелъ къ заключенію, что и кончикъ корня, и зона роста чувствительны къ направляющему воздѣйствію силы тяжести.

1) Maige, A. Recherches biologiques sur les plantes rampantes. Ann. des Sc. nat. 8 série, t. 11, p. 249. 1900.

2) «Un rameau oblique faisant un angle de 40° était devenu vertical» (p. 348).

статьѣ имѣется не много, но вся совокупность наблюденій автора дѣлаетъ его весьма вѣроятнымъ. Приведенный выше случай можетъ служить наиболѣе яркимъ примѣромъ.

Что касается вліянія свѣта, то соотвѣтствующими опытами Maige доказалъ, что роль его состоитъ именно въ воздѣйствіи на геотропическія свойства, т. е. что направленіе стеблей относительно горизонта опредѣляется геотропизмомъ ихъ, а не взаимодѣйствіемъ его съ геліотропизмомъ.

Lidforss[1]) указалъ подобный же случай вліянія свѣта. Стебли Holosteum umbelattum, несущіе соцвѣтія, весною при низкой температурѣ (3°—4°) становятся трансверсально геотропичными, но если закрыть растеніе такъ, чтобы свѣтъ совершенно не достигалъ его, то черезъ 2—3 дня (при той же низкой температурѣ) стебель изгибается кверху настолько, что верхняя часть его (три четверти всей длины) принимаетъ вертикальное направленіе.

§ 3. Превращенія геотропизма подъ вліяніемъ перемѣны температуры.

Превращенія геотропизма въ зависимости отъ условій температуры наблюдались у боковыхъ корней, у облиственныхъ стеблей и у цвѣтоножекъ нѣкоторыхъ растеній. Относительно боковыхъ корней имѣется мало указаній; въ полученныхъ результатахъ слѣдуетъ отмѣтить, что измѣненіе геотропическихъ свойствъ, какъ и подъ вліяніемъ свѣта, происходитъ очень быстро, въ теченіе всего нѣсколькихъ часовъ. Гораздо обстоятельнѣе изслѣдованы превращенія геотропизма стеблевыхъ частей при повышеніи и пониженіи температуры. Эти явленія даже обозначаютъ почему-то особымъ терминомъ: психроклинія.

Относительно боковыхъ корней имѣются слѣдующія данныя. Саксъ[2]) упоминаетъ, что ему случалось наблюдать измѣненіе величины предѣльнаго угла вслѣдствіе колебаній температуры: боковые корни, которые при относительно низкой температурѣ росли наклонно, послѣ значительнаго повышенія ея изгибались внизъ и росли подъ меньшимъ предѣльнымъ угломъ.

Stahl[3]) подтвердилъ это наблюденіе. Такой же результатъ получилъ и Czapek[4]). Цифровыя данныя имѣются только въ его статьѣ, предыдущіе авторы ихъ не приводятъ. У проростковъ Vicia Faba, развивавшихся при 18°—20° C, когда они были затѣмъ подвергнуты вліянію температуры въ 31°, боковые корни черезъ 10 часовъ изогнулись книзу; относительная медленность реакціи объясняется слишкомъ большимъ повышеніемъ температуры: optimum роста лежитъ при 26°; при 31° корни росли медленнѣе, чѣмъ при 20°, откуда слѣдуетъ, какъ справедливо заключаетъ авторъ, что здѣсь нельзя приписывать образованіе изгиба повышенію способности къ реакціи въ связи съ усиленіемъ роста.

1) Lidforss, Bengt. Ueber d. Geotropismus einiger Frühjahrspflanzen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 38, p. 348. 1903. H. 3. 1902.

2) Sachs, J. Ueber d. Wachsthum d. Haupt- und Nebenwurzeln. Arb. d. bot. Inst. in Würzburg. Bd. 1, p. 624. 1874.

3) Stahl, E. Einfluss d. Lichtes auf d. Geotropismus. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 2, p. 396. 1884.

4) Czapek, Fr. Ueber die Richtungsursachen der Seitenwurzeln u. s. w. Sitzungsber. d. k. Ak. d. Wiss. in Wien. Bd. 104. Abth. I, p. 1252. 1895.

Перемѣна направленія боковыхъ корней совершается въ предѣлахъ ихъ короткой зоны роста и обыкновенно происходитъ безъ особыхъ осложненій, тогда какъ у стеблей, которые имѣютъ нѣсколько растущихъ междоузлій, обнаруживающихъ неодинаковыя свойства, переходъ отъ одного направленія къ другому значительно усложняется, тѣмъ болѣе, что въ немъ иногда принимаютъ участіе также и настическія движенія, которыя въ свою очередь тоже могутъ измѣняться въ зависимости отъ различныхъ условій.

Уже давно Vöchting описалъ движенія цвѣтоножекъ Anemone stellata, вызываемыя перемѣной температуры[1]): ночью (а также въ холодные пасмурные дни и послѣ проливного дождя), цвѣтоножки бываютъ изогнуты внизъ; въ теплую погоду утромъ онѣ выпрямляются и затѣмъ непрерывно измѣняютъ свое направленіе такимъ образомъ, что цвѣтокъ слѣдуетъ за движеніемъ солнца. Достаточно убѣдительными опытами Vöchting установилъ, что причиной поникалія и выпрямленія цвѣтоножекъ является именно перемѣна температуры окружающей среды, а не условія освѣщенія и не степень влажности. По его предположеніямъ и предварительнымъ опытамъ таковы же движенія цвѣтоножекъ у A. nemorosa и Tulipa silvestris[2]). Наблюденія, произведенныя надъ многими дикорастущими и культурными травянистыми растеніями, показали, что подобнымъ же образомъ измѣняется направленіе и вегетативныхъ побѣговъ. Главнымъ объектомъ изслѣдованія послужилъ Mimulus Tillingii[3]). Весною побѣги его при низкой температурѣ на свѣту растутъ горизонтально; при повышеніи температуры — принимаютъ вертикальное направленіе. Въ темнотѣ въ обоихъ случаяхъ растутъ отвѣсно вверхъ. То или другое направленіе не пріурочено къ опредѣленной температурѣ, но вызывается извѣстнымъ пониженіемъ ея: побѣги, которые росли вертикально въ очень теплой оранжереѣ, изогнулись, когда были перенесены въ холодное помѣщеніе, гдѣ однако и ночью температура не спускалась ниже 8°—10° C, тогда какъ на открытомъ воздухѣ растенія при этой температурѣ еще не образуютъ изгибовъ, если они передъ тѣмъ уже приняли вертикальное направленіе.

По мнѣнію Vöchting'а, слѣдуетъ предполагать, что другіе виды Mimulus относятся подобнымъ же образомъ къ вліянію температуры и что изгибы внизъ, наблюдаемые при переходѣ отъ осени къ зимѣ на побѣгахъ Sinapis arvensis, Senecio vulgaris, Euphorbia exigua и др., вѣроятно, также обусловливаются низкой температурой.

Вообще это явленіе онъ считаетъ широко распространеннымъ, полагая, что горизонтальное направленіе многихъ альпійскихъ растеній отчасти или вполнѣ вызывается вліяніемъ холода. Отношеніе растущихъ побѣговъ къ низкой температурѣ, по его мнѣнію, зависитъ отъ особаго свойства ихъ («Das in diesem Aufsatze besprochene Verhalten wachsender

1) Vöchting, H. Ueber d. Einfluss d. Wärme auf die Blüthenbewegungen der Anemone stellata. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 21, p. 285. 1889.

2) Причиною того, что цвѣты слѣдуютъ за движеніемъ солнца, на основаніи особыхъ опытовъ, Vöchting считаетъ термотропизмъ. Замѣчательно, что въ естественныхъ условіяхъ оно происходитъ и въ томъ случаѣ если растенія накрыты чернымъ пріемникомъ («vermittels eines schwarzen Recipienten der Dunkelheit ausgesetzt»).

3) Vöchting, H. Ueber d. Einfluss niedriger Temperatur auf Sprossrichtung. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 16, p. 37. 1898.

Pflanzentheile gegen den Einfluss niedriger Temperatur beruht auf einer besonderen Eigenschaft»). Это свойство Vöchting предложилъ «въ отличіе отъ другихъ, подобныхъ, ему и прежде всего отъ термотропизма» назвать *психроклиніей*.

Въ чемъ состоитъ механизмъ разсматриваемаго явленія, находится ли оно въ связи съ измѣненіемъ геотропическихъ свойствъ побѣговъ или имѣетъ настическое[1]) происхожденіе, — Vöchting, повидимому не изслѣдовалъ, по крайней мѣрѣ въ своихъ статьяхъ онъ не касается этого вопроса.

Позднѣе на ближайшія причины образованія изгибовъ обратилъ вниманіе Lidforss[2]). Онъ пришелъ къ выводу, что подъ именемъ психроклиніи объединяются неоднородныя физіологическія явленія, такъ какъ изгибы, возникающіе при перемѣнѣ температуры могутъ быть различнаго происхожденія.

Полученные имъ результаты представляютъ сложную картину, хотя измѣненія свойствъ стеблей все еще имъ не были выяснены съ достаточной полнотой. Главной причиной сложности является то, что ростъ и способность къ образованію изгибовъ долгое время сохраняются почти по всей длинѣ стебля, въ нѣсколькихъ междоузліяхъ его.

Наиболѣе просто перемѣна направленія совершается у Holosteum umbellatum и Lamium purpureum, которыя въ этомъ отношеніи можно считать представителями цѣлой группы растеній. При низкой температурѣ побѣги ихъ въ общемъ имѣютъ горизонтальное направленіе. Если ихъ перенести въ теплое помѣщеніе, то они изгибаются вверхъ и направляются вертикально. Это происходитъ и въ темнотѣ, и на свѣту, и въ очень влажномъ, и въ сухомъ воздухѣ, и даже въ водѣ. Изгибъ образуется очень быстро: у Holosteum umbellatum, перенесеннаго съ холода (3°—5° C) въ помѣщеніе, гдѣ было 20°—30° C, стебли выпрямлялись черезъ $1\frac{1}{2}$—2 часа.

Здѣсь заслуживаетъ особеннаго вниманія слѣдующее обстоятельство. Изгибъ начинается въ послѣднемъ (верхнемъ) междоузліи; постепенно онъ переходитъ къ основанію стебля, тогда какъ верхнія междоузлія послѣдовательно выпрямляются, какъ это обычно происходитъ у ортотропныхъ стеблей, выведенныхъ изъ положенія равновѣсія. Въ концѣ

---

1) Этотъ терминъ я примѣняю въ общепринятомъ значеніи, а не въ томъ, какое ему придаетъ Pfeffer. Настіями называются такія измѣненія роста или напряженія тканей, послѣдствіемъ которыхъ является образованіе изгиба, но не оріентированіе органа относительно какого-либо направляющаго воздѣйствія. Pfeffer же единственно важнымъ для характеристики настическихъ движеній считаетъ то, что они могутъ возникать вслѣдствіе всесторонне дѣйствующихъ внѣшнихъ вліяній, напр., при перемѣнѣ температуры окружающей среды (Pflanzenphysiologie. II Aufl. Bd. II, p 83), и поэтому причисляетъ къ настіямъ также и тѣ изгибы, которые происходятъ въ силу измѣненія тропистическихъ свойствъ подъ вліяніемъ всесторонняго внѣшняго воздѣйствія [« Demgemäss sind die oben besprochenen Bewegungen (т. е. изгибы корневищъ подъ вліяніемъ свѣта и наземныхъ побѣговъ при измѣненіи температуры) zu den photonastischen Reaktionen zu zählen, und das auch dann, wenn sich in einem concreten Fall ergeben sollte, dass der Beleuchtungswechsel (bezw. Temperaturwechsel etc.) nur dadurch wirkt, dass er die geotropische Sensibilität modificirt und in Folge dieser Umstimmung durch eine geotropische Bewegung den Uebergang in eine neue Gleichgewichtslage veranlasst» l. c., p. 512].

2) Lidforss, B. Ueber d. Geotropismus einiger Frühjahrspflanzen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 38. 1903. H. 3, p. 343. 1902.

Idem. Weitere Beiträge zur Kenntnis der Psychroklinie. Lunds Univers. Årsskrift. N. F. Afd. 2. Bd. 4. № 3. 1908.

концовъ весь стебель оказывается направленнымъ вертикально. Такимъ образомъ, отъ горизонтальнаго положенія къ вертикальному побѣгъ переходитъ въ силу отрицательнаго геотропизма. Если затѣмъ растеніе вновь перенести на холодъ, то оно возвращается къ горизонтальному положенію, но уже теперь изгибъ начинается не въ верхнемъ междоузліи, а при основаніи стебля, и весь онъ движется внизъ «подобно стрѣлкѣ часовъ»[1]). Принятое горизонтальное направленіе сохраняется.

На холоду стебли, по мнѣнію автора, обнаруживаютъ трансверсальный геотропизмъ, такъ какъ, во-первыхъ, они не только стелятся по поверхности почвы, но растутъ горизонтально и въ томъ случаѣ, если концы ихъ выступаютъ за край вегетаціоннаго сосуда, и, во-вторыхъ, если ихъ направить отвѣсно вверхъ или внизъ, то они образуютъ изгибы и возвращаются къ горизонтальному положенію. Однако это происходитъ не такъ, какъ можно было бы ожидать: здѣсь изгибы не начинаются въ верхнемъ междоузліи, но образуются въ нижней части стебля. Такимъ образомъ, если два побѣга, принявшіе горизонтальное положеніе, направить вертикально: одинъ — вверхъ, другой — внизъ, то оба они дадутъ изгибы въ ту же сторону, куда уже изогнулись подъ вліяніемъ низкой температуры ранѣе при переходѣ отъ вертикальнаго направленія къ горизонтальному. Поэтому первый побѣгъ, направленный вверхъ, послѣ новаго изгиба будетъ обращенъ кверху той же стороной, какъ и прежде, у второго же — верхней сдѣлается та сторона, которая раньше была нижней.

Такъ какъ изгибы подъ вліяніемъ низкой температуры послѣ пребыванія растеній въ теплой оранжереѣ происходятъ и на клиностатѣ у стеблей, направленныхъ параллельно горизонтальной оси, то ихъ слѣдуетъ считать обусловленными вполнѣ или до извѣстной степени, эпинастіей (именно эпинастіей — потому, что при изгибѣ становится выпуклой та сторона, которая была обращена кверху, когда раньше до помѣщенія въ оранжерею, на холоду, побѣги расли горизонтально). Отсюда, повидимому, можно было бы заключить, что при низкой температурѣ растенія просто утрачиваютъ геотропическія свойства и образованіе изгибовъ зависитъ только отъ эпинастіи. Это предположеніе опровергается двумя обстоятельствами: во-первыхъ, если побѣги лишены геотропизма, то непонятно, почему эпинастическій изгибъ сразу не достигаетъ полнаго развитія, когда растенія подвергаются вліянію низкой температуры, и почему онъ возобновляется, если стебли привести въ вертикальное положеніе, а во-вторыхъ, на клиностатѣ побѣги, перенесенные на холодъ, изгибаются по всей длинѣ, во всѣхъ междоузліяхъ, тогда какъ у вертикально направленныхъ изгибъ сосредоточивается при основаніи, а прочія междоузлія остаются прямыми, въ нихъ какъ будто эпинастіи противодѣйствуетъ какое то направляющее вліяніе. Нельзя предполагать, чтобы это противодѣйствіе было обязано своимъ происхожденіемъ отрицательному геотропизму, такъ какъ, если бы онъ сохранился, то стебли, направленные отвѣсно внизъ, должны были бы изгибаться гораздо сильнѣе направленныхъ вверхъ, потому что въ по-

1) Въ полной мѣрѣ сказанное относится только къ Holosteum, у Lamium движеніе нѣсколько сложнѣе: изгибъ начинается въ двухъ мѣстахъ стебля.

слѣднемъ случаѣ эпинастія и геотропизмъ дѣйствовали бы въ противоположныхъ направленіяхъ, тогда какъ у стеблей, направленныхъ внизъ, — въ одномъ и томъ же.

Наконецъ, третье возможное предположеніе, что побѣги на холоду становятся дорзивентральными, устраняется тѣмъ, что они одинаково сохраняютъ горизонтальное направленіе, какой бы стороной кверху ни были обращены.

Такимъ образомъ, какъ ни странны отношенія побѣговъ къ вліянію силы тяжести, все же остается только допустить, что при пониженіи температуры отрицательный геотропизмъ превращается въ трансверсальный. Вмѣстѣ съ тѣмъ приходится сдѣлать еще и другое допущеніе, что въ то время, когда происходитъ эпинастическій изгибъ, приводящій стебли въ горизонтальное положеніе, — геотропическій аппаратъ бездѣйствуетъ. Далѣе мы увидимъ, что это не единичный случай.

Lidforss устанавливаетъ еще двѣ группы растеній, которыя характеризуются тѣмъ, что вліяніе эпинастіи все болѣе и болѣе возрастаетъ. Типичными растеніями для первой изъ нихъ являются Corydalis pumila и C. fabacea (но не другіе виды ся). Заключеніе относительно болѣе сильнаго вліянія эпинастіи, повидимому, основывается главнымъ образомъ на томъ, что побѣги, вращаемые на клиностатѣ при высокой температурѣ, выпрямляются вполнѣ только въ раннемъ возрастѣ, болѣе старые стебли, хотя все еще способные къ образованію геотропическихъ изгибовъ по всей длинѣ, сохраняютъ до извѣстной степени эпинастическій изгибъ, не выравнивающійся до конца[1]).

Къ послѣдней группѣ относятся цвѣтоножки нѣкоторыхъ растеній; типъ представляетъ Anemone nemorosa. Подъ вліяніемъ пониженія температуры, какъ неподвижно стоящія растенія, такъ и вращаемыя на клиностатѣ, образуютъ изгибы. При повышеніи ея наоборотъ изгибы совершенно выравниваются. Такъ какъ амплитуда колебаній въ томъ и другомъ случаѣ остается одинаковой, то Lidforss считаетъ эти изгибы чисто термонастическими. Участіе геотропизма въ нихъ все же сказывается (какъ признаетъ и Lidforss), и именно въ томъ, что у неподвижно стоящихъ растеній изгибы происходятъ скорѣе, чѣмъ на клиностатѣ.

У Anemone nemorosa особенно интересны соотношенія геотропическихъ свойствъ различныхъ стеблевыхъ частей. Если при 20° направить весь стебель горизонтально, то вскорѣ образуется геотропическій изгибъ (вверхъ) немного ниже (на $\frac{1}{2}$—1 см.) мѣста прикрѣпленія трехъ листьевъ обертки; изгибъ нѣсколько распространяется къ основанію стебля, цвѣтоножка же все время остается прямою, какъ если бы она совершенно была лишена геотропическихъ свойствъ. Однако, если привести стебель въ горизонтальное положеніе и закрѣпить его неподвижно, то изгибъ происходитъ въ цвѣтоножкѣ. Слѣдовательно, и ей свой-

1) Страннымъ образомъ авторъ считаетъ мѣриломъ эпинастіи, кромѣ амплитуды изгиба, также и увеличивающуюся способность къ распрямленію его: Holosteum и Lamium не выпрямляются на клиностатѣ, — ихъ онъ признаетъ наименѣе эпинастичными, въ разсматриваемой группѣ только болѣе старые стебли остаются изогнутыми, она занимаетъ среднее мѣсто, въ слѣдующей — всѣ стебли распрямляются, и въ ней термонастія признается преобладающей.

ственъ отрицательный геотропизмъ, но онъ бездѣйствуетъ, когда можетъ изгибаться нижележащая часть стебля.

При низкой температурѣ стебель остается вертикальнымъ, а цвѣтоножка изгибается настолько, что цвѣтокъ оказывается направленнымъ наклонно или даже отвѣсно внизъ. Если стебель привести въ горизонтальное положеніе, то онъ образуетъ изгибъ кверху, какъ и при высокой температурѣ, немного ниже мѣста прикрѣпленія обвертки. Цвѣтоножка остается пассивной. Если же воспрепятствовать стеблю изгибаться, приведя его въ такое положеніе, чтобы загнутый конецъ цвѣтоножки былъ обращенъ кверху, то уже верхняя часть ея производитъ движеніе, посредствомъ котораго цвѣтокъ снова принимаетъ нормальное для низкой температуры положеніе.

Приведенныя подробности заслуживаютъ особеннаго вниманія потому, что они показываютъ, какую осторожность слѣдуетъ соблюдать въ заключеніяхъ о геотропическихъ свойствахъ того или другого объекта, если онъ не изслѣдованъ всесторонне.

§ 4. *Превращенія геотропизма, причины которыхъ неизвѣстны.*

Въ литературѣ имѣются описанія еще нѣсколькихъ случаевъ превращеній геотропизма, причины которыхъ можно указать лишь предположительно.

Давно уже замѣчено, что растущіе въ землѣ побѣги обыкновенно располагаются на опредѣленномъ разстояніи отъ поверхности почвы. Если они образуются на поверхности или слишкомъ близко отъ нея, то при дальнѣйшемъ ростѣ направляются внизъ, если же почему-нибудь слой почвы надъ ними окажется слишкомъ великъ, напр., будетъ нанесенъ водой, то они изгибаются кверху. Существованіе извѣстной «нормальной» глубины для геофильныхъ стеблей указано какъ общее правило нѣсколькими авторами.

Вообще, въ нормальныхъ условіяхъ, корневища обнаруживаютъ трансверсальный геотропизмъ. Если направленіе ихъ измѣняется въ зависимости отъ разстоянія отъ поверхности почвы, то представляется весьма вѣроятнымъ, что это происходитъ вслѣдствіе измѣненія ихъ геотропическихъ свойствъ.

Rimbach[1]) нашелъ, что дѣйствительно различіе въ направленіи корневищъ (по опытамъ надъ Paris quadrifolia) опредѣляется геотропизмомъ. Онъ показалъ также, что не только въ естественныхъ условіяхъ, но и при культурѣ подземные органы многихъ растеній рано или поздно (иногда въ теченіе нѣсколькихъ періодовъ вегетаціи) достигаютъ нормальной глубины и, если затѣмъ уменьшить или увеличить толщину слоя почвы надъ ними, то возвращаются къ обычному разстоянію отъ поверхности[2]). Условія аэраціи при этомъ не

1) Rimbach, A. Das Tiefenwachstum der Rhizome. Beitr. zur Wiss. Bot. Bd. 3, p. 177. 1893.

2) Это достигается не всегда одинаковымъ способомъ. Корневища измѣняютъ свое направленіе, но у орхидныхъ (Orchis mascula, O. morio, Ophrys muscifera, Plantanthera bifolia, Pl. montana), если они посажены слишкомъ глубоко, боковая почка, предназначенная для побѣга будущаго года, выносится кверху усиленнымъ ростомъ междоузлія (вертикальнаго стебля), надъ которымъ она прикрѣплена, тогда какъ у посаженныхъ слишкомъ близко къ поверхности—вырастаетъ, направляясь внизъ, короткая вѣтвь, соединяющая почку (и вновь образующійся клубень) съ главнымъ стеблемъ.

играютъ роли, такъ какъ направленіе корневищъ и положеніе подземныхъ органовъ (по опытамъ надъ Paris, Arum, Colchicum, Orchis, Platanthera, Dentaria) опредѣляется разстояніемъ отъ верхней поверхности и въ томъ случаѣ, если растенія культивируются въ такихъ сосудахъ, въ которыхъ воздухъ въ большомъ количествѣ имѣетъ доступъ къ корневищамъ снизу.

Rimbach предполагаетъ, что форма геотропизма зависитъ въ данномъ случаѣ отъ притока пластическаго матеріала: если его тратится слишкомъ много на построеніе ортотропнаго стебля, которому приходится пройти черезъ толстый слой почвы, прежде чѣмъ могутъ появиться на немъ органы ассимиляціи, то корневище направляется кверху, если же оно лежитъ поверхностно и получаетъ избытокъ питательныхъ веществъ, не использованныхъ на построеніе вертикальнаго стебля, то оно направляется внизъ. Попытки измѣнить въ томъ или другомъ направленіи количество питательнаго матеріала, измѣняя соотвѣтствующимъ образомъ условія ассимиляціи, дали результаты, въ которыхъ авторъ видитъ подтвержденіе своей мысли.

Этимъ вопросомъ занимался также Raunkiaer[1]), который пришелъ къ выводу, что направленіе корневища (у Polygonatum multiflorum) зависитъ отъ условій освѣщенія облиственнаго побѣга. Различія въ аэраціи и влажности слоевъ почвы не имѣютъ значенія. Но если воздушный стебель накрыть высокимъ цинковымъ цилиндромъ, такъ, чтобы черезъ отверстіе въ верхней стѣнкѣ его проходилъ конецъ стебля, то корневище направляется кверху, хотя бы оно и безъ того было посажено слишкомъ близко къ поверхности почвы[2]).

Опыты Rimbach'a и Raunkiaer'a, конечно, далеко еще не выяснили причину измѣненія геотропическихъ свойствъ геофильныхъ побѣговъ въ зависимости отъ глубины, на которой они находятся подъ поверхностью почвы, но все же даютъ основаніе полагать, что жизнедѣятельность облиственныхъ побѣговъ является одной изъ причинъ, опредѣляющихъ отношеніе геофильныхъ стеблей къ вліянію силы тяжести.

Наконецъ, слѣдуетъ упомянуть еще объ одномъ случаѣ превращенія геотропическихъ свойствъ въ зависимости отъ измѣненія внѣшнихъ условій. Причинная связь здѣсь несомнѣнно установлена, но еще менѣе понятна, чѣмъ въ предыдущихъ случаяхъ. У Lysimachia Nummularia, какъ показываютъ опыты Massart'a[3]), ползучіе, укореняющіеся побѣги (которые въ обычныхъ условіяхъ обнаруживаютъ трансверсальный геотропизмъ), если ихъ помѣстить въ воду, — становятся отрицательно геотропичными. Почему именно вода оказываетъ такое дѣйствіе (въ силу ли уменьшенія транспираціи, или вслѣдствіе затрудненія доступа кислорода, или какимъ инымъ путемъ), — Massart не изслѣдовалъ.

---

1) Raunkiaer, C. Comment les plantes géophytes à rhizomes apprécient la profondeur où se trouvent placés leurs rhizomes. Bull. de l'Acad. r. des Sc. et des Lettres de Danemark. 1904, p. 329.

2) Подобное же явленіе, повидимому, наблюдалъ и Göbel (Allgemeine Regenerationsprobleme. Flora. Bd. 95, p. 394. 1905). Онъ указываетъ, что если у Circaea на продолжительное время лишить свѣта ортотропный побѣгъ, то одна изъ плагіотропныхъ боковыхъ вѣтвей изгибается вверхъ.

3) Massart, J. Sur l'irritabilité des Plantes supérieures. Mém. de l'Acad. r. de Belgique. T. 62. 1902. Recueil de l'Inst. Bot. Léo Errera. T. 6, p. 19. 1906.

II. Измѣненія геотропическихъ свойствъ въ связи съ морфологическими измѣненіями побѣга.

У многихъ растеній имѣются побѣги, измѣняющіе свое направленіе относительно горизонта въ различные періоды развитія. Иногда конецъ ортотропной вѣтви, или даже и главной оси изгибается и принимаетъ горизонтальное направленіе, иногда наоборотъ, стелящіеся или ползучіе стебли на концахъ приподнимаются и становятся ортотропными. Обыкновенно направленіе стеблей находится въ соотношеніи съ образованіемъ цвѣтовъ, но извѣстны случаи, когда и чисто вегетативные побѣги въ одной фазѣ развитія бываютъ плагіотропными, въ другой ортотропными. Какъ бы то ни было, перемѣны направленія сопровождаются измѣненіемъ морфологическихъ свойствъ. Не касаясь вопроса, насколько внѣшніе морфологическіе признаки обусловливаются направленіемъ побѣга, важно имѣть въ виду, что различное отношеніе къ силѣ тяжести здѣсь обнаруживаетъ не одна и та же зона органа.

Условія, отъ которыхъ зависитъ появленіе новой формы геотропизма, — неизвѣстны; измѣненіе происходитъ, повидимому, автономно, но различныя геотропическія свойства связываются съ разными стадіями развитія органа и потому принадлежатъ различнымъ комплексамъ тканей.

Переходъ отъ ортотропнаго роста къ плагіотропному совершается постепенно. Соотвѣтственныя, послѣдовательныя измѣненія формъ геотропизма были установлены Maige'емъ[1]). Онъ изучалъ ползучія растенія преимущественно съ біологической точки зрѣнія. Главной цѣлью изслѣдованія было выяснить, въ чемъ состоятъ характерныя черты приспособленія побѣговъ къ ихъ образу жизни. Вмѣстѣ съ тѣмъ было обращено вниманіе и на отношенія ихъ къ свѣту и силѣ тяжести. По совокупности признаковъ приспособленія Maige раздѣляетъ изслѣдованныя растенія на три группы. Геотропическія свойства были изслѣдованы не у всѣхъ растеній, но обобщеніе здѣсь допустимо, такъ какъ объектами опытовъ служили представители всѣхъ трехъ группъ и притомъ обнаружили большое сходство между собою. Опыты привели къ заключенію, что горизонтальное направленіе стеблей во всѣхъ случаяхъ обусловливается исключительно трансверсальнымъ геотропизмомъ.

Въ морфологическомъ отношеніи горизонтальные побѣги характеризуются слѣдующими признаками. Они представляютъ собою побѣги или чисто вегетативные, или обладающіе лишь ослабленной способностью къ образованію цвѣтовъ, производящіе въ узлахъ придаточные корни и имѣющіе конечную почку особаго вида (съ удлиненными первыми междоузліями, Maige называетъ ее диссоціированной). Въ естественныхъ условіяхъ пере-

---

1) Maige, A. Recherches biologiques sur les plantes rampantes. Ann. des Sc. nat. 8 Série. T. 11, p. 249. 1900.

ходъ отъ ортотропнаго роста къ плагіотропному, какъ было упомянуто, совершается весьма медленно и постепенно, и вмѣстѣ съ тѣмъ постепенно вырабатываются указанные признаки. Maige находитъ возможнымъ установить три стадіи: 1) исходная, вертикальная стадія, съ обыкновенной конечной почкой; 2) горизонтальная стадія, безъ придаточныхъ корней (или со слабымъ развитіемъ ихъ) и съ диссоціированной почкой; 3) окончательная стадія, на которой побѣги отличаются отъ предыдущихъ по внѣшнему виду только хорошо развитыми и рано образующимися придаточными корнями, но гораздо болѣе упорно сохраняютъ признаки приспособленія[1]).

Между первой и второй стадіей стебли принимаютъ послѣдовательно всѣ промежуточныя наклонныя положенія. Опыты показали, что каждому изъ нихъ соотвѣтствуетъ особая форма геотропизма. Но въ промежуточныхъ состояніяхъ (особенно, повидимому, въ началѣ каждаго періода) геотропическія свойства неустойчивы. Фазы развитія можно замедлить или ускорить, а быть можетъ, даже и вызвать, измѣняя условія освѣщенія. Слабый, разсѣянный свѣтъ благопріятствуетъ превращенію ортотропныхъ побѣговъ въ ползучіе. Но, помѣщенные въ темноту во время перехода отъ одной стадіи къ другой, побѣги какъ будто возвращаются къ предыдущему промежуточному состоянію и вновь обнаруживаютъ тѣ геотропическія свойства, какія имѣли раньше. Здѣсь, повидимому, происходитъ дѣйствительное превращеніе геотропизма (о чемъ было выше упомянуто), такъ какъ направленіе измѣняется чрезвычайно быстро (всего въ нѣсколько часовъ). Но легко совершается именно только возвращеніе къ предыдущей формѣ.

Прямой солнечный свѣтъ благопріятствуетъ ортотропному росту, поэтому возможны случаи (Glechoma hederacea), что боковыя вѣтви такъ и не превращаются въ ползучіе побѣги, если растеніе все время получаетъ много свѣта. Однако, если побѣги, и въ первое время развитія подвергавшіеся дѣйствію прямыхъ лучей солнца, перенести на разсѣянный свѣтъ, то переходъ къ горизонтальному положенію происходитъ (медленно и черезъ обычныя промежуточныя направленія, со свойственной каждому формой геотропизма, при чемъ наличность въ каждомъ промежуточномъ положеніи особой формы геотропизма обнаруживается тѣмъ, что стебель возвращается къ соотвѣтствующему направленію, если былъ изъ него выведенъ).

Еще раньше Maige'а отдѣльныя наблюденія надъ переходомъ ползучихъ побѣговъ отъ плагіотропнаго роста къ ортотропному и наоборотъ при перемѣнѣ условій освѣщенія, были произведены Oltmanns'омъ[2]), при чемъ нѣкоторые изъ полученныхъ имъ результатовъ представляются противорѣчащими даннымъ Maige'а, но это противорѣчіе можетъ быть объяснено разницей въ постановкѣ опытовъ[3]).

Oltmanns наблюдалъ, что ползучіе побѣги Glechoma hederacea (подобные же опыты были сдѣланы и надъ Lysimachia Nummularia), перенесенные въ темноту, черезъ 24—

1) Не всѣ растенія проходятъ эти стадіи, часто встрѣчается сокращеніе въ ходѣ развитія.

2) Oltmanns, Fr. Ueber positiven und negativen Heliotropismus. Flora. Bd. 83, p. 23. 1897.

3) Maige не цитируетъ статьи Oltmanns'а.

48 ч., а иногда и раньше изгибаются вверхъ и принимаютъ вертикальное направленіе [1]). Если же ихъ затѣмъ выставить на свѣтъ, то черезъ 1—2 дня они снова возвращаются къ прежнему (горизонтальному) положенію. Опыты съ клиностатомъ показали, что геліотропизмъ при этомъ не играетъ роли: вращаемые вокругъ вертикальной оси стебли также изгибались, какъ и неподвижно стоявшіе.

Противорѣчіе съ результатами Maige'a состояло въ томъ, что въ опытахъ Oltmanns'a побѣги принимали горизонтальное направленіе подъ вліяніемъ сильнаго свѣта, находясь около выходившаго на югъ и постоянно открытаго окна, тогда какъ Maige указываетъ, что горизонтальные побѣги, подвергаясь дѣйствію прямыхъ солнечныхъ лучей, изгибаются кверху. Разница въ результатахъ, быть можетъ, зависѣла отъ неодинаковой продолжительности опытовъ. Oltmanns не упоминаетъ, какъ долго растенія подвергались освѣщенію, поэтому возможно, что онъ наблюдалъ только первый эффектъ дѣйствія свѣта; впрочемъ также остается неизвѣстнымъ и то, въ теченіе сколькихъ часовъ въ день растенія освѣщались прямыми лучами солнца и въ какой стадіи приспособленія они примѣнялись для опытовъ [2]).

Нѣкоторыя изъ наблюденій Oltmanns'a особенно ясно обнаруживаютъ связь между морфологическими и физіологическими свойствами стеблей. Концы горизонтальныхъ побѣговъ, остававшихся въ теченіе долгаго времени (1—2 недѣль) заключенными въ темный пріемникъ (между тѣмъ какъ остальныя части растенія находились на свѣту), принимали вертикальное направленіе, причемъ листья ихъ хотя и оставались небольшими, но пріобрѣтали форму, свойственную тѣмъ, которые развиваются на стебляхъ, приносящихъ цвѣты. Такіе измѣненные побѣги впослѣдствіи и на свѣту (на горизонтальной площадкѣ клиностата) сохраняли вертикальное направленіе [3]). Здѣсь, слѣдовательно, вмѣстѣ съ измѣненіями внутренняго строенія, проявившимися и въ формѣ побѣговъ, послѣ того уже утратившихъ способность къ дальнѣйшимъ измѣненіямъ подъ вліяніемъ внѣшнихъ условій, была пріобрѣтена и стойкая форма геотропизма. Но переходъ къ ортотропному росту вслѣдствіе затѣненія Oltmanns наблюдалъ только весною. Лѣтомъ концы побѣговъ и въ темнотѣ цѣлыми недѣлями росли попрежнему горизонтально. Закрѣпленіе морфологическихъ свойствъ влекло за собою постоянство и въ отношеніи побѣговъ къ силѣ тяжести при перемѣнѣ внѣшнихъ условій.

Что касается первыхъ опытовъ, въ которыхъ направленіе стеблей измѣнялось сравнительно быстро, то возможно, что здѣсь Oltmanns наблюдалъ дѣйствительное превращеніе геотропизма, но опыты не настолько подробно описаны, чтобы можно было сдѣлать опредѣленное заключеніе.

---

1) Подобно темнотѣ дѣйствовалъ и слабый разсѣянный свѣтъ.

2) При очень сильномъ освѣщеніи побѣги (Lysimachia Nummularia) изгибались ниже горизонтальнаго положенія. Oltmanns предполагаетъ, что при этомъ отрицательный геотропизмъ превращается въ положительный. Насколько въ данномъ случаѣ въ дѣйствительности направленіе побѣговъ зависитъ отъ геотропизма и не участвуетъ ли въ образованіи изгиба эпинастія, вызванная дѣйствіемъ свѣта,—Oltmanns не изслѣдовалъ (p. 26—30).

3) Въ неподвижномъ положеніи, перенесенные на окно, они давали лишь слабые положительно геліотропическіе изгибы (p. 24).

Oltmanns имѣлъ въ виду главнымъ образомъ геліотропическія свойства ползучихъ побѣговъ и не изслѣдовалъ спеціально превращеній геотропизма. Поэтому результаты его опытовъ только въ сопоставленіи съ данными Maige'а пріобрѣтаютъ опредѣленное значеніе и даютъ возможность придти къ нѣкоторымъ (хотя и совершенно гипотетическимъ) выводамъ о наблюдавшемся вліяніи свѣта на геотропизмъ. Факты, установленные этими авторами, производятъ впечатлѣніе, что въ стебляхъ ползучихъ побѣговъ по мѣрѣ ихъ развитія уже самъ по себѣ совершается какой то внутренній процессъ, происходятъ какія то, вначалѣ незамѣтныя и неустойчивыя измѣненія, съ которыми связаны перемѣны въ отношеніи этихъ побѣговъ къ силѣ тяжести и которыя закрѣпляются параллельно съ выработкой новыхъ морфологическихъ свойствъ. Что же касается различныхъ условій освѣщенія, то ихъ вліяніемъ этотъ процессъ можетъ быть только ускоренъ или замедленъ.

Указанныя измѣненія совершаются съ весьма различной скоростью въ зависимости отъ степени приспособленности побѣга во время опыта (Maige, l. c., p. 346). Иногда переходъ отъ одного направленія къ другому происходитъ настолько медленно, что несомнѣнно въ теченіе этого времени строеніе можетъ глубоко измѣниться: Maige указываетъ, что побѣги Stachys silvatica, развивавшіеся на солнечномъ свѣтѣ, если ихъ перенести на слабый разсѣянный свѣтъ, достигаютъ окончательной степени приспособленія (превращаясь въ ползучіе стебли) только въ теченіе цѣлаго мѣсяца (p. 325). Побѣги, слабо приспособленные, не достигшіе горизонтальнаго направленія, подъ вліяніемъ солнечнаго свѣта направляются вертикально (черезъ 2 сутокъ), но, если теперь вновь помѣстить ихъ въ слабый разсѣянный свѣтъ, то и черезъ недѣлю они еще не возвращаются къ исходному направленію, т. е. не успѣваютъ вновь пріобрѣсти геотропическія свойства, принадлежащія стадіи слабаго приспособленія (p. 349).

Почти совершенно такіе же результаты, какъ въ опытахъ Maige'а, были получены также и Newcombe'омъ[1]) при изслѣдованіи развитія различныхъ побѣговъ у Asparagus plumosus. Но такъ какъ у этого растенія во время перехода изъ вертикальной стадіи въ горизонтальную стебли обнаруживаютъ весьма сильную нутацію, то по даннымъ Newcombe'а трудно рѣшить, происходитъ ли здѣсь дѣйствительное превращеніе геотропизма. Изъ совокупности описанныхъ имъ наблюденій скорѣе слѣдуетъ, что различнымъ участкамъ стебля у Asparagus plumosus свойственны различныя формы геотропизма (при извѣстныхъ внѣшнихъ условіяхъ), переходъ же отъ одного направленія къ другому происходитъ главнымъ образомъ путемъ настическихъ искривленій при содѣйствіи нутаціи, хотя Newcombe и утверждаетъ, что фото- и геонастіи здѣсь не обнаруживается.

Къ числу явленій, подобныхъ тѣмъ, которыя были описаны Maige'емъ и Oltmanns'омъ, относятся, вѣроятно, также и измѣненія свойствъ побѣговъ у Mentha longifolia и Mentha viridis, указанныя Briquet[2]).

1) Newcombe, Fr. C. Sensitive Life of Asparagus plumosus. A morpho-physiological Study. Beihefte. z. Bot. Cbltt. Bd. 31. Abt. I, p. 13. 1913.

2) Briquet, J. Modifications produites par la lumière dans le géotropisme des stolons de menthes. Bull. du Labor. de Bot. gén. de l'Univers. de Genève. Vol. 1, p. 5. 1896.

Въ данномъ случаѣ измѣненіе геотропизма также не было произвольнымъ: оно наступало подъ вліяніемъ свѣта. Опыты относятся къ горизонтальнымъ побѣгамъ, растущимъ въ землѣ. Къ сожалѣнію они описаны не настолько подробно, чтобы можно было съ увѣренностью представить себѣ, въ какой послѣдовательности происходили наблюдавшіяся измѣненія, что особенно важно для рѣшенія вопроса, измѣнялись ли геотропическія свойства извѣстной зоны роста, или возникалъ новый комплексъ тканей, проявлявшій иное отношеніе къ силѣ тяжести, чѣмъ тотъ, изъ котораго онъ произошелъ.

Опыты описаны слѣдующимъ образомъ. Два названные вида мяты (M. longifolia и M. viridis), въ отличіе отъ нѣкоторыхъ другихъ, имѣютъ горизонтальные побѣги только растущіе въ землѣ. Культивируя ихъ сначала въ теченіе нѣкотораго времени подъ слоемъ влажнаго песка, Briquet освобождалъ затѣмъ ихъ конечныя почки и, на различныхъ побѣгахъ, подвергалъ дѣйствію свѣта съ разныхъ сторонъ. Результатъ былъ тотъ, что эти почки «ont verdi en 4 à 5 jours d'une façon très appréciable, se sont graduellement courbés vers le haut (теперь рѣчь идетъ уже, вѣроятно, о побѣгахъ, развившихся изъ почекъ, а не о самихъ почкахъ) et ont pris une position franchement apogéotropique. En prolongeant l'experiance, l'auteur a vu ces bourgeons se transformer en rameaux aériens feuillés». Если бы изгибалась по оси самая почка, а не происшедшій изъ нея побѣгъ, и притомъ если бы оказалось, что это происходитъ подъ вліяніемъ силы тяжести, то можно было бы утверждать, что мы имѣемъ здѣсь случай дѣйствительнаго превращенія геотропизма подъ вліяніемъ свѣта, но скорѣе слѣдуетъ предположить, что въ теченіе 4—5 дней успѣлъ развиться побѣгъ, обнаруживавшій иныя геотропическія свойства, чѣмъ тотъ, отъ котораго онъ произошелъ. Такъ какъ впослѣдствіи онъ превратился въ обыкновенный воздушный облиственный побѣгъ (такіе побѣги у мяты ортотропны), то весьма вѣроятно, что новыя геотропическія свойства обнаружились уже послѣ того, какъ произошли значительныя измѣненія въ строеніи. Поэтому есть основаніе полагать, что и въ данномъ случаѣ различно реагировали разныя зоны стебля, а не одна и та же.

* * *

Есть еще рядъ случаевъ предполагаемыхъ превращеній геотропизма, которые должны войти въ разсматриваемую группу, если только будетъ доказано, что здѣсь мы дѣйствительно имѣемъ дѣло съ различными геотропическими свойствами, потому что пока наличность въ нихъ двухъ формъ геотропизма составляетъ предметъ спора, еще не рѣшеннаго окончательно. Здѣсь подразумѣваются измѣненія геотропическихъ свойствъ цвѣтоножекъ, происходящія по мѣрѣ развитія ихъ, но безъ видимыхъ перемѣнъ въ строеніи, съ которыми представлялось бы возможнымъ ихъ связать. Нѣкоторые авторы на основаніи своихъ опытовъ отрицаютъ здѣсь самое существованіе одной изъ формъ геотропизма. Если это мнѣніе окажется вѣрнымъ, то тѣмъ самымъ будетъ, разумѣется, устранено и предположеніе о превращеніяхъ геотропизма. Поэтому къ имѣющимся даннымъ слѣдуетъ относиться съ большой осторожностью. Существенное въ нихъ сводится къ слѣдующему.

Vöchting[1]), въ большой работѣ, описалъ многочисленные и тщательные наблюденія и опыты надъ движеніями, которыя производятся цвѣтоножками многихъ растеній въ связи съ развитіемъ цвѣточныхъ почекъ или созрѣваніемъ плодовъ. На основаніи болѣе подробнаго изслѣдованія нѣкоторыхъ изъ этихъ движеній онъ пришелъ къ заключенію, что причиною ихъ являются измѣненія геотропическихъ свойствъ. Особенно интересно то, что здѣсь наблюдаются, повидимому, взаимныя превращенія отрицательнаго и положительнаго геотропизма, между тѣмъ какъ обыкновенно мы встрѣчаемъ только превращенія параллелотропныхъ органовъ въ трансверсально геотропичные и наоборотъ. Слѣдуетъ помнить однако, что и здѣсь новыя свойства пріобрѣтаются по мѣрѣ роста и развитія стеблей и, несмотря на то, что въ нихъ не установлено измѣненій въ строеніи, хотя бы аналогичныхъ тѣмъ, которыя были указаны для вегетативныхъ побѣговъ, но все же за это время въ нихъ идетъ образованіе новыхъ тканей и дифференцировка уже существующихъ, такъ что и здѣсь новыя геотропическія свойства пріурочены къ инымъ, чѣмъ прежде, носителямъ ихъ.

Доказательство того, что именно геотропизмъ является причиной различнаго направленія цвѣтоножекъ въ разные періоды развитія, доставили опыты Vöchting'а, произведенные главнымъ образомъ надъ нѣсколькими видами мака и надъ Tussilago Farfara. Особенно убѣдительны данныя, полученныя въ опытахъ съ этимъ послѣднимъ растеніемъ. У него вначалѣ цвѣтоножка растетъ вертикально. Къ концу цвѣтенія или вскорѣ послѣ окончанія его она образуетъ въ верхней части изгибъ, и закрывшееся соцвѣтіе опускается отвѣсно внизъ. Когда приближается время созрѣванія сѣмянъ, то цвѣтоножка снова выпрямляется и принимаетъ вертикальное направленіе. Если цвѣтущій стебель въ различные періоды приводить въ обратное положеніе (основаніемъ кверху), то молодыя цвѣтоножки до цвѣтенія или съ только что раскрывшимися соцвѣтіями, энергично изгибаются кверху; слѣдовательно, въ это время онѣ отрицательно геотропичны.

Если въ этомъ періодѣ помѣстить растенія на клиностатъ и вращать вокругъ горизонтальной оси, то цвѣтоножки продолжаютъ развиваться по прежнему въ принятомъ направленіи и не образуютъ изгибовъ, тогда какъ по прошествіи нѣкотораго времени, снятыя съ клиностата и приведенныя въ вертикальное положеніе они даютъ изгибъ книзу, который расправляется, если вновь изъять растенія отъ направляющаго воздѣйствія силы тяжести. Этими опытами доказывается, что изгибы внизъ обусловлены положительнымъ геотропизмомъ. Но такимъ образомъ реагируетъ только верхняя часть цвѣтоножки, середина ея остается отрицательно геотропичной, основаніе же перестаетъ расти. Ко времени созрѣванія сѣмянъ и въ верхней части обнаруживается прежняя форма геотропизма: если направить растеніе отвѣсно внизъ, то уже въ верхней части цвѣтоножки образуется изгибъ, направляющій соплодіе кверху; на остальномъ протяженіи къ основанію ростъ ея прекращается.

Vöchting болѣе подробно описываетъ свои наблюденія и опыты надъ цвѣтоножками

---

1) Vöchting, H. Die Bewegungen der Blüthen und Früchte. Bonn. 1882.

мака, но при этомъ не упоминаетъ о слѣдующемъ весьма важномъ обстоятельствѣ: сохраняютъ ли свое направленіе молодыя, вертикально растущія цвѣтоножки мака при дальнѣйшемъ развитіи, если ихъ вращать на клиностатѣ вокругъ горизонтальной оси, и если да (какъ можно предполагать на основаніи того, что при описаніи опытовъ надъ Tussilago неоднократно указывается на полное сходство превращеній геотропизма у того и другого растенія), то образуютъ ли онѣ послѣ этого изгибы внизъ, если ихъ привести въ вертикальное положеніе. Это важно потому, что имѣются противоположныя указанія.

Въ пользу того, что верхняя поникающая часть цвѣтоножки мака положительно геотропична и что этимъ обусловливается ея поникапіе, сильнѣе всего говоритъ тотъ опытъ Vöchting'а, въ которомъ онъ до образованія изгиба внизъ удерживалъ цвѣточную почку въ вертикальномъ положеніи, прикрѣпивъ къ ней шелковинку перекинутую черезъ блокъ, на другомъ концѣ которой находилась гирька, въ два раза превышавшая вѣсъ цвѣточной почки и той части цвѣтоножки, которая несмотря на это все таки согнулась и направилась отвѣсно внизъ. Это показываетъ, что и первый изгибъ активенъ и не зависитъ отъ отягощенія. Такъ какъ на клиностатѣ эти изгибы выпрямляются (въ теченіе всего 5 часовъ, l. c., p. 101), то становится весьма вѣроятнымъ, что причиной ихъ является положительный геотропизмъ[1]).

Чрезвычайно важный опытъ Vöchting'а былъ сдѣланъ имъ только одинъ разъ. Fünfstück[2]) повторилъ его надъ цвѣтоножками, которыя «sich eben zu krümmen begannen», и получилъ тотъ же результатъ, какъ и Vöchting. Всего было сдѣлано 8 опытовъ, отягощеніе превышало въ $1\frac{1}{2}$—2 раза вѣсъ цвѣточной почки и части цвѣтоножки до мѣста изгиба.

Выводы Vöchting'а относительно превращеній геотропизма подтверждаются до извѣстной степени также и опытами Scholtz'а[3]) надъ цвѣтоножками мака и концами стеблей Ampelopsis quinquefolia.

Онъ опредѣлилъ величину наибольшей тяжести, какую могутъ поднять (посредствомъ блока) молодыя «sich eben abwärts neigende» цвѣтоножки, и нашелъ ее равной (для Papaver dubium) двумъ граммамъ.

Кромѣ того, Scholtz[4]) указалъ, что еще болѣе сложныя измѣненія геотропическихъ свойствъ наблюдаются при развитіи цвѣтоножекъ Cobaea scandens. У этого послѣдняго растенія, по даннымъ Scholtz'а, происходитъ многократная смѣна различныхъ формъ геотропизма.

---

1) Къ сожалѣнію, Vöchting не указываетъ точно, была ли цвѣтоножка при началѣ опыта еще совершенно пряма, такъ какъ только въ этомъ случаѣ полученный результатъ пріобрѣтаетъ полную силу. Въ описаніи опыта сказано, что былъ примѣненъ горшечный экземпляръ растенія «mit einer Knospe, die sich eben abwärts krümmen wollte».

2) Fünfstück, M. Zur Frage nach der aktiven Krümmung d. Knospenstiele der Papaveraceen. Ber. d. Deutsch.Bot.Ges. Bd. 1, p. 429. 1883.

3) Scholtz, Max. Die Nutation d. Blüthenstiele d. Papaver-Arten und d. Sprossenden von Ampelopsis quinquefolia Michx. Beitr. z. Biol. d. Pfl. Bd. 5, p. 373. 1892.

4) Scholtz, M. Die Orientierungsbewegungen d. Blüthenstieles von Cobaea scandens Cav. u. die Blütheneinrichtung dieser Art. Beitr. z. Biol. d. Pfl. Bd. 6, p. 305. 1893.

Вначалѣ цвѣтоножка относится безразлично къ вліянію силы тяжести, затѣмъ она становится по всей длинѣ отрицательно геотропичной; черезъ нѣсколько времени свободный конецъ ея, несущій цвѣточную почку, направляется отвѣсно внизъ, обнаруживая положительный геотропизмъ, вмѣстѣ съ тѣмъ остальная растущая часть становится трансверсально геотропичной, и наконецъ, приблизительно въ серединѣ дистальной части, направленной до этого времени отвѣсно внизъ, обособляется второй трансверсально-геотропичный участокъ. Такимъ образомъ въ окончательномъ видѣ вся растущая часть оказывается раздѣленной на 4 различныя зоны: двѣ положительно-геотропичныя и двѣ трансверсально-геотропичныя, чередующіяся съ первыми.

Такъ какъ геотропическія свойства опредѣлялись здѣсь посредствомъ отклоненія всего изслѣдуемаго органа изъ его обычнаго положенія, при чемъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ реакція выражалась не образованіемъ изгибовъ, а скручиваніемъ (на клиностатѣ же опыты не удались), то полученные результаты, хотя и доказываютъ, что существуетъ какая-то зависимость образованія изгибовъ отъ силы тяжести (быть можетъ очень сложная), но не даютъ основанія съ увѣренностью утверждать, что именно указаннымъ многократнымъ измѣненіемъ геотропизма обусловливается своеобразная форма цвѣтоножки Cobaea scandens: возможно, что нѣкоторые изгибы имѣютъ настическое происхожденіе. Причины образованія ихъ въ данномъ случаѣ могутъ быть установлены только подробнымъ изслѣдованіемъ геотропическихъ свойствъ отдѣльныхъ частей растущей зоны, что представляетъ однако почти непреодолимыя трудности въ техническомъ отношеніи.

Въ недавнее время еще былъ указанъ одинъ случай движенія цвѣтоножекъ, подобнаго тому, которое наблюдается у мака и Tussilago Farfara, и именно въ краткой замѣткѣ Göbel'я[1]). Повидимому, не допуская сомнѣній въ томъ, что поникание цвѣтущихъ стеблей обусловливается геотропическими свойствами ихъ[2]), онъ предлагаетъ въ качествѣ удобнаго объекта для лекціонной демонстраціи положительнаго геотропизма стеблевыхъ органовъ побѣги Bryophyllum crenatum, оканчивающіеся соцвѣтіемъ. Это растеніе, какъ указываетъ Göbel, представляетъ то преимущество, что у него весь верхній конецъ ранѣе строго ортотропнаго, облиственнаго стебля (состоящій изъ нѣсколькихъ междоузлій), изгибается отвѣсно внизъ, когда конечное соцвѣтіе начинаетъ развиваться. Наклоняя растеніе, легко можно показать, что здѣсь мы имѣемъ дѣло съ проявленіемъ положительнаго геотропизма; когда же разовьются цвѣты, то геотропическое настроеніе измѣняется, вслѣдствіе чего соцвѣтіе направляется вверхъ.

Однако воззрѣнія Vöchting'а не могутъ считаться общепризнанными. Они вызвали также и возраженія. Wiesner и позднѣе Риттеръ[3]) доказывали, что превращенія гео-

1) Göbel, K. Laboratoriumsnotiz. Zur Demonstration positiv geotropischer Sprosse im Winter. Flora Bd. 94, p. 205. 1905.

2) Того же мнѣнія держится Pfeffer (Pflanzenphysiologie. II Aufl. II. Bd., p. 564).

3) Wiesner, J. Studien über d. Einfluss d. Schwerkraft auf d. Richtung der Pflanzenorgane. Sitzungsber. d. k. Ak. d. Wiss. in Wien. Bd. III. Abt. I, p. 733. 1902.

Риттеръ, Г. О поникании и выпрямленіи цвѣтоножекъ у мака. Зап. Ново-Александрійск. Инст. Сельск. Хоз. и Лѣс. Т. 19, p. 82. 190

тропизма здѣсь не происходитъ, такъ какъ изгибъ внизъ образуется не потому, чтобы концы стеблей были положительно геотропичными. Разногласіе касается не только истолкованія результатовъ, но и фактическихъ данныхъ. Wiesner утверждаетъ, что молодыя (направляющіяся вертикально) цвѣтоножки мака образуютъ изгибы и въ томъ случаѣ, если ихъ вращать на клиностатѣ вокругъ горизонтальной оси; слѣдовательно эти изгибы автономны, причиной ихъ является эпинастія.

Риттеръ же нашелъ, что цвѣтоножки, если привести ихъ въ горизонтальное положеніе, не даютъ такихъ изгибовъ, которыми доказывалось бы существованіе положительнаго геотропизма. Опыты производились двумя способоми. Во-первыхъ, срѣзанные побѣги съ молодыми цвѣтоножками закрѣплялись на цинковой пластинкѣ въ горизонтальномъ положеніи и оставлялись такъ на 12 или на 24 часа (въ темнотѣ); по истеченіи этого срока освобожденные побѣги обнаруживали (въ нижней части) рѣзко выраженный отрицательно геотропическій изгибъ, но ни разу не было замѣчено ни малѣйшаго намека на положительно геотропическій. Во-вторыхъ, уже изогнувшіяся, отрѣзанныя (на разстояніи 2—3 см. ниже вершины изгиба) цвѣтоножки приводились въ такое положеніе, чтобы участокъ, ранѣе вертикально свѣшивавшійся, теперь былъ направленъ горизонтально, при чемъ фиксировалась неподвижно одна только почка, а цвѣтоножка оставалась свободной. Результатъ былъ тотъ, что «не только черезъ 12 или 24 часа, но и черезъ 48 ч. нигдѣ нельзя было обнаружить какого бы то ни было изгиба, который можно было бы истолковать въ смыслѣ положительнаго геотропизма»[1]).

Кромѣ того, и относительно Tussilago Farfara Wiesner[2]) (въ докладѣ обществу «Wiener botanische Abende») утверждалъ, что причиной поникания цвѣтущихъ стеблей ея слѣдуетъ считать тотъ гипотетическій видъ эпинастіи, который онъ называетъ «vitale Lastkrümmung», т. е. что измѣненія геотропическихъ свойствъ здѣсь не происходитъ. Относительно постановки опытовъ въ цитируемомъ докладѣ ничего не сообщается.

Такъ какъ въ опытахъ Wiesner'а и Риттера фактическіе результаты были иные, чѣмъ у Vöchting'а, и такъ какъ съ другой стороны изъ описанія ихъ нельзя видѣть, отъ какихъ условій это зависѣло, то вопросъ объ участіи геотропизма въ поникании цвѣтоножекъ можетъ быть рѣшенъ только путемъ новаго, болѣе обстоятельнаго, экспериментальнаго изслѣдованія ихъ геотропическихъ свойствъ.

Въ недавнее время нѣкоторые недостающіе опыты были сдѣланы Bannert'омъ[3]), въ лабораторіи Haberlandt'а, а именно были произведены наблюденія надъ совершенно молодыми цвѣтоножками, еще не начинавшими изгибаться, причемъ изслѣдовалось вліяніе на ихъ ростъ вращенія на клиностатѣ и уравновѣшиванія тяжести цвѣточной почки. Получились результаты, доказывающіе, что изгибъ внизъ происходитъ только подъ вліяніемъ силы тяжести, но вѣсъ цвѣточной почки при этомъ не играетъ роли. На клиностатѣ

---

1) l. c., p. 12 (отд. оттискъ).

2) Oesterreichische Bot. Zeitschr. Bd. 56, p. 370. 1906.

3) Bannert, O. Ueber d. Geotropismus einiger Infloreszenzachsen und Blütenstiele. Diss. Berlin. 1912.

цвѣтоножки оставались прямыми, а въ вертикальномъ положеніи, несмотря на уравновѣшиваніе цвѣточной почки, — изгибались. Отсюда слѣдуетъ, что соображенія Wiesner'а о «vitale Lastkrümmung», по крайней мѣрѣ для растеній, изслѣдованныхъ Bannert'омъ, оказались неприложимыми къ объясненію разсматриваемыхъ изгибовъ. Къ сожалѣнію, Bannert не имѣлъ возможности произвести опыты надъ цвѣтоножками мака[1]).

Такимъ образомъ воззрѣнія Vöchting'а опытами Bannert'а подтверждаются. Однако противорѣчащіе результаты, полученные Риттеромъ, все же сохраняютъ свое значеніе и новаго толкованія имъ не дается.

Высказанное недавно Czapek'омъ[2]) мнѣніе что «Es ist dies (т. е. das Nicken der Blütensprosse) noch eine echte Geonastie (weil immerhin richtende, nicht nur krümmende Wirkungen entfaltet werden), sondern eine physiologische Schwerkraftwirkung, die etwa dem Geo-Nyktitropismus zu vergleichen ist», — не совсѣмъ ясно и недостаточно мотивировано авторомъ.

Измѣненія геотропическихъ свойствъ, совершенно подобныя тѣмъ, которыя наблюдаются при развитіи цвѣтоножекъ, но происходящія въ подсѣмядольномъ колѣнѣ и въ теченіе болѣе короткаго промежутка времени, были описаны Schütze[3]). Въ виду недостаточной полноты изслѣдованія и представляющихся для него трудностей, зависящихъ отъ свойствъ объекта, я не буду входить въ разсмотрѣніе полученныхъ результатовъ.

Движенія, которыя могутъ быть истолкованы, какъ результатъ превращенія геотропическихъ свойствъ, происходящаго по мѣрѣ развитія органа, наблюдались также и въ частяхъ цвѣтка.

Dufour[4]), изслѣдуя зависимость направленія тычинокъ и пестиковъ отъ силы тяжести, замѣтилъ, что у Dictamnus Fraxinella Pers. столбики въ началѣ цвѣтенія обнаруживаютъ положительный геотропизмъ, направляясь внизъ, несмотря на то, какое бы положеніе ни было придано цвѣтку, когда же рыльце созрѣетъ, то столбикъ измѣняетъ свое отношеніе къ силѣ тяжести и направляется вертикально вверхъ[5]). На клиностатѣ изгибы не образуются. Зависимость направленія частей цвѣтка отъ земного притяженія въ данномъ случаѣ несомнѣнно установлена, но все же многое остается невыясненнымъ. Опыты съ клиностатомъ совершенно не описаны. Неизвѣстно, выравнивается ли первый изгибъ въ силу измѣ-

1) Объектами его изслѣдованія служили: Convallaria majalis L., Fuchsia globosa Lindl., Abutilon striatum Dicks. (съ нимъ удался только одинъ опытъ, такъ какъ у него почки слишкомъ легко опадаютъ), Funkia ovata Spreng., Ipomaea purpurea L., Mimosa pudica L., Althaea rosea Cav., Aloe Perryi Bak., Chlorophytum comosum Bak., Pelargonium zonale и Amaryllis vittata L'Hérit (по каталогу садоводства); изъ нихъ вращенію на клиностатѣ подвергались Convallaria majalis и Fuchsia globosa.

2) Czapek, Fr. Geotropismus und Pflanzenform. Wiesner's Festschrift. 1908, p. 99.

3) Schütze, Rud. Ueber das geotropische Verhalten d. Hypokotyls und d. Kotyledons. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 48, p. 379. 1910. Тамъ же нѣкоторыя литературныя указанія. Объектами его опытовъ служили слѣдующія растенія: Lupinus albus, Phaseolus multiflorus, Ph. vulgaris, Helianthus annuus, Ricinus communis, Vicia Faba, Convolvulus tricolor, Cucurbita Pepo, Impatiens Balsamina, Raphanus sativus, Linum usitatissimum, Pinus Pinea и Yucca angustifolia (сѣмядоля).

4) Dufour, J. De l'influence de la gravitation sur les mouvements de quelques organes floraux. Arch. des Sciences phys. et nat. Troisième période. T. 14, p. 417—420. 1885.

5) Подобныя же движенія производятъ и тычинки, но книзу онѣ изгибаются очень слабо.

ненія геотропическихъ свойствъ органа или автономно и происходятъ ли всѣ движенія въ одной и той же растущей зонѣ или въ разныхъ, что, очевидно, имѣетъ особенно важное значеніе. Въ общемъ по тѣмъ даннымъ, которыя содержатся въ цитируемой статьѣ, нельзя судить, происходитъ ли здѣсь дѣйствительное превращеніе геотропизма одной и той же зоны органа, или разныя части его послѣдовательно обнаруживаютъ различное отношеніе къ силѣ тяжести, или же, наконецъ, изгибы происходятъ въ силу геогенной эпинастіи и гипонастіи, — что, впрочемъ, по свойствамъ объекта очень трудно установить.

III. Измѣненіе формы геотропизма при образованіи новаго побѣга.

Изъ числа геофильныхъ стеблевыхъ образованій корневища встрѣчаются несравненно чаще, чѣмъ всѣ остальныя. Они имѣются у громаднаго большинства многолѣтнихъ травянистыхъ растеній, какъ двудольныхъ, такъ и однодольныхъ. Иногда геофильные побѣги вѣтвятся моноподіально (какъ, напр., у Agropyrum repens, Butomus umbellatus, Primula officinalis, Adoxa Moschatellina). Въ этомъ случаѣ, слѣдовательно, конечная почка развивается въ геофильный побѣгъ, а облиственные или цвѣтущіе стебли получаются изъ пазушныхъ почекъ, т. е. вертикальные и горизонтальные побѣги развиваются изъ почекъ различнаго происхожденія. Но обычнымъ для корневищъ является симподіальное вѣтвленіе. Конечная почка главной оси весною производитъ вертикальный облиственный побѣгъ, оканчивающійся цвѣткомъ или соцвѣтіемъ. Этотъ вертикальный конецъ стебля къ концу періода вегетаціи погибаетъ и оставляетъ послѣ себя на корневищѣ рубецъ, но ближайшая къ мѣсту отхожденія вертикальнаго стебля пазушная почка развивается въ то же время въ горизонтальную вѣтвь, которая и продолжаетъ собою корневище; на слѣдующую весну уже конечная почка этой вѣтви дастъ вертикальный побѣгъ, который осенью въ свою очередь погибнетъ и потомъ будетъ замѣненъ ближайшимъ къ нему и т. д. Вѣтвленіе иногда усложняется, но здѣсь было бы неумѣстно входить въ подробности. Слѣдуетъ только отмѣтить, что соотношенія побѣговъ строго нормированы: такъ, напр., у Polygonatum почка, продолжающая собою корневище, закладывается всегда въ пазухѣ девятаго чешуйчатаго листа, считая отъ основанія побѣга даннаго года[1]). Примѣрами растеній съ симподіальными корневищами, кромѣ Polygonatum multiflorum и P. vulgare, могутъ служить виды осоки, Anemone nemorosa, Euphorbia dulcis, Hieracium silvaticum.

Вертикальные стебли — отрицательно геотропичны. Производящіе ихъ горизонтальные подземные побѣги—по крайней мѣрѣ тѣ, которые въ этомъ отношеніи были изслѣдованы— обыкновенно обнаруживаютъ трансверсальный геотропизмъ, весьма вѣроятно, что это общее правило. Такъ какъ, слѣдовательно, при симподіальномъ вѣтвленіи, растущая въ землѣ часть главной оси относится къ направляющему дѣйствію силы тяжести иначе, чѣмъ окончаніе ея, превращающееся въ воздушный стебель, то получается впечатлѣніе, что здѣсь

1) Van-Tieghem. Traité de Botanique. T. I, p. 264. 1891.

одна форма геотропизма переходитъ въ другую. Обыкновенно такъ именно и смотрятъ на это явленіе[1]). Göbel обозначаетъ свойства такихъ стеблей, какъ періодичную геотропическую чувствительность («eine periodische geotropische Empfindlichkeit»)[2]).

Если бы это было такъ, то случаи превращеній геотропизма оказались бы чрезвычайно многочисленными: слѣдовало бы признать, что у огромнаго количества видовъ оно сопровождаетъ извѣстную фазу развитія.

Но, разсматривая подробнѣе происходящія здѣсь измѣненія, едва ли можно придти къ такому выводу. Въ данномъ случаѣ различно реагируетъ на геотропическое раздраженіе не только не одна и та же зона роста, но даже не одинъ и тотъ же побѣгъ: трансверсально геотропичный стебель заканчивается зимующей почкой, которая, уже послѣ періода покоя, развивается въ побѣгъ иного строенія, чѣмъ произведшій ее. Нѣтъ указаній, чтобы сама почка первоначально обнаруживала трансверсальный геотропизмъ, а затѣмъ, сохраняя свой гистологическій составъ, представляя собой тотъ же, что и прежде комплексъ тканей, начинала проявлять новыя геотропическія свойства. Въ сущности, здѣсь на горизонтальномъ стеблѣ возникаетъ новый органъ или, вѣрнѣе сказать, группа новыхъ органовъ; понятно, что и геотропическія свойства ихъ иныя. Отношенія между корневищемъ и происшедшимъ изъ конечной почки цвѣтущимъ стеблемъ въ данномъ случаѣ, съ физіологической точки зрѣнія, можно скорѣе считать аналогичными тѣмъ, какія существуютъ между листостебельнымъ побѣгомъ и придаточнымъ корнемъ, чѣмъ между частями одного и того же стебля. Конечно, это уподобленіе слѣдуетъ принимать со всѣми необходимыми оговорками: оно предназначается только для наглядной характеристики различія функцій, а слѣдовательно, и внутреннихъ свойствъ обоихъ побѣговъ.

Во всякомъ случаѣ различное отношеніе къ силѣ тяжести здѣсь проявляетъ не одинъ и тотъ же или два, хотя и разныхъ, но тожественныхъ по строенію побѣга, а стебли совершенно различнаго морфологическаго характера. Болѣе того. Есть указаніе, что въ нѣкоторыхъ случаяхъ уже самыя почки, производящія побѣги, различные въ морфологическомъ отношеніи, различаются по своему строенію. Здѣсь имѣются въ виду результаты весьма тщательнаго изслѣдованія Busse[3]), который нашелъ, что у пихты конечныя почки различныхъ осей (главной оси, длинныхъ и короткихъ побѣговъ) по строенію сильно различаются между собой. Далѣе, у боковыхъ вѣтвей, которыя переходятъ отъ горизонтальнаго направленія къ вертикальному, чтобы замѣнить утраченную вершину, конечныя почки пред-

1) Такъ напр., у Pfeffer'a (Pflanzenphysiologie. 2 Aufl. Bd. II, p. 612) сказано: «Dagegen scheint bei den sympodialen Rhizomen die Aufwärtskrümmung des bisher horizontal wachsenden Sprossgliedes in der Regel auf einer Verwandlung des bisherigen Diageotropismus in negativen Geotropismus zu beruhen, die sich Hand in Hand mit dem Uebergang des Rhizomsprosses in einen Laub- und Blüthenspross einstellt». Здѣсь имѣется ссылка на Göbel'я (Vergleichende Entwicklungsgeschichte der Pflanzenorgane. 1883, p. 193), гдѣ приведены Convallaria multiflora и polygonatum, какъ примѣръ растеній имѣющихъ корневища, у которыхъ главная ось заканчивается цвѣткомъ или соцвѣтіемъ и замѣщается при дальнѣйшемъ развитіи боковымъ побѣгомъ.

2) Göbel, K. Beiträge zur Morphologie und Physiologie des Blattes. Bot. Zeitung. 1880, p. 819.

3) Busse, W. Beiträge zur Kenntniss der Morphologie und Jahresperiode der Weisstanne (Abies alba Mill.) Flora. Bd. 77, p. 163 ff. 1893.

ставляютъ собою промежуточныя формы между конечной почкой длиннаго побѣга (боковой вѣтви) и главной оси. Поэтому возможно, что и задатки будущихъ физіологическихъ свойствъ появляются уже въ почкахъ, на самыхъ раннихъ стадіяхъ ихъ развитія.

Далѣе, при разборѣ явленій замѣны утраченной вершины главной оси боковою, будутъ еще приведены нѣкоторые случаи видимаго превращенія геотропизма, близкіе къ только что разсмотрѣннымъ.

IV. Замѣна главной оси боковою вѣтвью.

Случаи измѣненія геотропическихъ свойствъ боковыхъ вѣтвей, вызываемаго удаленіемъ верхушки главной оси, раньше другихъ обратили на себя вниманіе. Ихъ обыкновенно прежде всего и имѣютъ въ виду, говоря о превращеніяхъ геотропизма. Но въ сущности многія изъ относящихся сюда явленій совершенно различны между собою. Соединять въ одну группу ихъ можно скорѣе съ телеологической точки зрѣнія, чѣмъ съ физіологической. Посредствомъ замѣны утраченной вершины главной оси какимъ-нибудь изъ боковыхъ побѣговъ возстановляются нормальныя соотношенія въ формѣ растительной особи[1]). Но какъ во многихъ другихъ, такъ и въ данномъ случаѣ организмъ можетъ достигать одной и той же цѣли разными способами. Поэтому мы здѣсь и встрѣчаемъ явленія, относящіяся ко всѣмъ тремъ выше разсмотрѣннымъ группамъ. Такимъ образомъ, въ сущности о превращеніи геотропизма въ явленіяхъ замѣны далеко не всегда можно говорить. Если изъ главнаго корня, у котораго отрѣзанъ конецъ, въ мѣстѣ срѣза вырастаютъ направляющіеся отвѣсно внизъ придаточные корни, то при этомъ не происходитъ перемѣны геотропическаго настроенія, такъ какъ именно эти вновь образующіеся корни, обнаруживающіе положительный геотропизмъ, никогда и не были трансверсально геотропичными.

Но всѣ относящіеся къ разсматриваемой группѣ случаи образованія органа съ новыми геотропическими свойствами, какимъ бы путемъ это ни происходило, имѣютъ общія черты и въ физіологическомъ отношеніи. Наблюдаемыя при этомъ перемѣны въ строеніи и свойствахъ органовъ нельзя считать автономными. Онѣ происходятъ не безъ видимой внѣшней причины, но вызывающее ихъ воздѣйствіе обращается не на ту часть организма, въ которой онѣ проявляются. Мы имѣемъ здѣсь дѣло съ явленіями корреляціи. Внутренній механизмъ ихъ, способъ взаимодѣйствія частей организма, остается пока еще совершенно неизвѣстнымъ, но такъ какъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ способны коррелативно измѣняться также и геотропическія свойства несомнѣнно одной и той же зоны органа, то совмѣстное изслѣдованіе всѣхъ вообще процессовъ, въ которыхъ участвуетъ корреляція, обѣщаетъ освѣтить и превращенія геотропизма, какъ частность въ явленіяхъ соотношенія органовъ.

---

1) Возстановляется «das gestörte morphotische Gleichgewicht», какъ выражается Vöchting (Ueber die Regeneration der Araucaria excelsa. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 40, p. 145. 1904).

1. Случаи дѣйствительнаго превращенія геотропизма.

Достовѣрныхъ случаевъ замѣны конца главной оси боковою путемъ дѣйствительнаго превращенія геотропическихъ свойствъ извѣстно немного. Boirivant[1]) наблюдалъ, что если отрѣзать конецъ главнаго корня въ той части, гдѣ уже имѣются развѣтвленія, то ближайшіе къ срѣзу боковые корни въ нижней своей части образуютъ изгибы и направляются отвѣсно (объектомъ служили проростки Faba vulgaris). Сколько времени проходитъ отъ операціи до начала образованія изгибовъ и въ какой послѣдовательности измѣняются свойства боковыхъ корней, — авторъ не упоминаетъ[2]), между тѣмъ какъ здѣсь можетъ возникнуть нѣкоторое недоумѣніе, такъ какъ въ приведенномъ описаніи на первомъ мѣстѣ поставлено увеличеніе діаметра, затѣмъ — обильное образованіе вѣтвей и уже въ концѣ — перемѣна направленія. Впрочемъ, быть можетъ, это объясняется тѣмъ, что предметомъ изслѣдованія служили почти исключительно морфологическія свойства замѣняющихъ органовъ, поэтому на нихъ и было прежде всего обращено вниманіе[3]).

Эти данныя опытовъ Boirivant'а впослѣдствіи оспаривались Bruck'омъ (сдѣланныя Bruck'омъ возраженія далѣе будутъ разсмотрѣны), но послѣ того были подтверждены Nordhausen'омъ[4]). Онъ также описываетъ свои опыты недостаточно подробно. Относительно перемѣны направленія упомянуто только, что боковые корни послѣ удаленія конца главной оси изгибались внизъ пологой дугой и затѣмъ росли подъ различными углами — нерѣдко совершенно отвѣсно, — смотря по разстоянію отъ срѣза. Операція производилась въ то время, когда боковые корни еще прокладали себѣ путь черезъ кору главнаго корня и въ верхней части его выдавались на поверхности въ видѣ небольшихъ возвышеній; но, какъ извѣстно, на этой стадіи развитія они уже обнаруживаютъ геотропическія свойства; поэтому и въ данномъ случаѣ несомнѣнно происходило превращеніе геотропизма.

Однако причиной образованія изгиба въ данномъ случаѣ является не только измѣненіе геотропическихъ свойствъ боковыхъ корней, но также и эпинастія. Nordhausen получилъ изгибы и на клиностатѣ; кромѣ того, когда оперированный корень приводился въ обратное положеніе, то боковые корни, развивавшіеся около самаго срѣза, сначала изгибались *вверхъ* и направлялись нерѣдко совершенно вертикально и затѣмъ уже давали крутые изгибы внизъ.

---

1) Boirivant, A. Recherches sur les organes de remplacement chez les plantes. Ann. des Sc. nat. 8 Série. T. 6, p. 317. 1897.

2) «... ce sont les radicelles préexistantes, voisines de la section, qui augmentent de diamètre, se ramifient plus que de coutume, dirigent verticalement leur portion terminale, en somme remplacent dans une certaine mesure la racine principale détruite».

3) Интересно указаніе Boirivant'а, что «On peut favoriser le remplacement de la racine par une radicelle en obligeant cette radicelle à croitre verticalement; ce résultat s'obtient facilement: il suffit de réunir la ramification à l'axe principale à l'aide d'un lien quelconque» (p. 317).

4) Nordhausen, M. Ueber Richtung u. Wachstum der Seitenwurzeln unter d. Einfluss äusserer u. innerer Faktoren. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 44, p. 561—562. 1907.

Менѣе достовѣрные случаи.

По сущности внутреннихъ измѣненій, сопровождающихся превращеніемъ геотропическихъ свойствъ, съ только что описанными, вѣроятно однородны тѣ случаи, когда превращеніе геотропизма происходитъ вслѣдствіе удаленія цвѣточныхъ почекъ или завязи въ нижележащей части стебля (въ цвѣтоножкѣ). Остановимся здѣсь только на тѣхъ опытахъ, которые относятся къ цвѣтоножкамъ мака, такъ какъ ихъ движенія были изслѣдованы наиболѣе подробно и такъ какъ движенія цвѣтущихъ стеблей другихъ растеній вполнѣ сходны съ ними.

Впервые De Vries[1]) указалъ, что если отрѣзать свѣшивающуюся вертикально внизъ цвѣточную почку мака, то цвѣтоножка въ короткое время (въ теченіе нѣсколькихъ часовъ) выпрямляется. Это наблюденіе было подтверждено всѣми другими изслѣдователями, изучавшими движенія цвѣтоножекъ, но истолковывалось различно[2]). Центръ тяжести вопроса лежитъ въ опредѣленіи причинъ поникания цвѣтоножекъ, того первоначальнаго изгиба, который приводитъ ихъ въ отвѣсное направленіе. Vöchting и за нимъ Scholtz и др. полагали, что этотъ изгибъ вызывается положительнымъ геотропизмомъ, тогда какъ De Vries, Wiesner и Риттеръ утверждаютъ, что цвѣтоножки положительнаго геотропизма не обнаруживаютъ и образованіе изгиба такъ или иначе происходитъ подъ вліяніемъ тяжести цвѣточной почки. Въ первомъ случаѣ слѣдуетъ признать, что выпрямленіе цвѣтоножекъ обусловливается превращеніемъ ихъ геотропическихъ свойствъ, во второмъ, — что цвѣтоножки въ верхней части временно лишены способности къ геотропической реакціи и выпрямленіе происходитъ въ силу того, что эта способность пріобрѣтается, но форма геотропизма остается единой, обнаруживается только отрицательный геотропизмъ.

Выше уже обсуждалось участіе геотропизма въ образованіи изгиба, которымъ верхняя часть цвѣтоножки направляется отвѣсно внизъ, и были разсмотрѣны доказательства, приведенныя Vöchting'омъ въ пользу того, что этотъ изгибъ возникаетъ въ силу положительнаго геотропизма. Поэтому здѣсь мы остановимся только на геотропическихъ свойствахъ цвѣтоножекъ, проявляемыхъ ими уже послѣ удаленія цвѣточной почки или частей ея.

Vöchting нашелъ, что цвѣтоножка выпрямляется въ теченіе короткаго времени и въ томъ случаѣ, если цвѣточную почку отрѣзавъ привязать къ концу ея; то же самое происходитъ, если привязать ихъ двѣ и даже три (l. c., p. 103). Отсюда слѣдуетъ, что цвѣтоножка выпрямляется активно и не потому, чтобы она была освобождена отъ сгибавшей ее тяжести. Далѣе, для того, чтобы направленіе цвѣтоножки измѣнилось, нѣтъ даже надобности удалять цвѣточную почку: достаточно внутри ея перерѣзать основаніе завязи, тогда какъ если наоборотъ отрѣзать всѣ остальныя части цвѣточной почки (не удаляя ихъ), то

1) De Vries, H. Ueber einige Ursachen der Richtung bilateralsymmetrischer Pflanzentheile. Arb. d. bot. Inst. in Würzburg. Bd. I (1874). H. 2 (1872), p. 229.

2) Vöchting, H. Die Bewegungen d. Blüthen u. Früchte. Bonn. 1882.

Scholtz, M. Die Nutation d. Blüthenstiele d. Papaver-Arten und d. Sprossenden von Ampelopsis quinquefolia Michx. Beitr. z. Biol. d. Pfl. Bd. 5, p. 373. 1892.

Wiesner, J. Studien über den Einfluss d. Schwerkraft auf die Richtung d. Pflanzenorgane. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. in Wien. Bd. 111. Abt. I, p. 751. 1902.

Риттеръ, Г. О поникании и выпрямленіи цвѣтоножекъ у мака. Зап. Ново-Александр. Инст. Сельск. Хоз. и Лѣс. Т. 19, p. 82. 1908.

преждевременнаго выпрямленія не происходитъ. Въ опытахъ Vöchting'а при этомъ всѣ наружныя части цвѣтка, окружающія завязь, въ нѣкоторыхъ случаяхъ совершенно засыхали и бурѣли, цвѣтоножки же сохраняли свое положеніе и затѣмъ выпрямлялись такъ же постепенно, какъ это происходитъ въ нормальныхъ условіяхъ [1]).

Scholtz (l. c., p. 381—382) повторилъ опыты съ удаленіемъ цвѣточныхъ почекъ и опредѣлилъ величину наибольшаго отягощенія, которое можетъ преодолѣть изгибающаяся вверхъ цвѣтоножка послѣ удаленія цвѣточной почки. Она достигаетъ 2,1 грамма (для Papaver hybridum). Что касается значенія отдѣльныхъ частей цвѣтка, то онъ нашелъ, что выпрямленіе цвѣтоножекъ можно получить, и не отрѣзывая завязи, но только снявъ звѣздчатое рыльце и выскобливъ сѣмяпочки. То же самое происходитъ и въ естественныхъ условіяхъ, если сѣмяпочки почему-нибудь отмираютъ (p. 383).

Если привести цвѣтоножку въ горизонтальное положеніе (такъ, чтобы плоскость изгиба была горизонтальна) и закрѣпить нижнюю часть ея, то верхняя часть изгибается и принимаетъ вертикальное направленіе. Но выпрямленіе происходитъ и на клиностатѣ. На основаніи этихъ результатовъ Vöchting заключаетъ, что причиной перемѣны направленія является, какъ измѣненіе геотропическихъ свойствъ, такъ и стремленіе къ прямолинейному росту (Rectipetalität). Вслѣдствіе недостаточной полноты описанія опытовъ трудно рѣшить, насколько принимаютъ участіе автономные процессы въ выпрямленіи неподвижно укрѣпленныхъ цвѣтоножекъ, но несомнѣнно одно, что цвѣтоножки обнаруживаютъ отрицательный геотропизмъ. Слѣдовательно, если считать доказаннымъ, что раньше онѣ были положительно геотропичными, то выпрямленіе ихъ надо признать слѣдствіемъ превращенія геотропизма. Wiesner и Риттеръ отрицаютъ это, но, какъ уже было выше упомянуто, разногласіе касается не только истолкованія получаемыхъ результатовъ, но также и фактическихъ данныхъ, поэтому вопросъ можетъ быть рѣшенъ только путемъ тщательной опытной провѣрки.

* * *

Съ предыдущими, вѣроятно, по существу однородны тѣ явленія, которыя недавно были описаны Vöchting'омъ и Bässler'омъ, хотя въ нихъ и не происходитъ замѣны утрачемнаго конца главной оси. Vöchting [2]) у савойской капусты (Brassica oleracea sabauda s. bullata) наблюдалъ, что послѣ удаленія соцвѣтія (въ первые дни апрѣля, въ холодной оранжереѣ, причемъ впослѣдствіи удалялись и всѣ возникавшіе замѣняющіе его побѣги) ближайшій къ срѣзу листъ, а иногда и слѣдующій, принимали вертикальное направленіе. То же самое происходило и у рапса (Br. Rapa var. oleifera α. hiemalis, l. c., p. 164). Bässler [3]) наблюдалъ, что у многихъ растеній вслѣдствіе удаленія вершины листья орто-

1) L. c., p. 108—109. Въ нѣкоторыхъ опытахъ было произведено искусственное опыленіе, и тогда завязь развивалась въ коробочку съ многочисленными сѣменами (p. 110).

2) Vöchting, H. Untersuchungen zur experimentellen Anatomie u. Pathologie d. Pflanzenkörpers. Tübingen. 1908, p. 162—163.

3) Bässler, F. Ueber d. Einfluss des Dekapitierens auf die Richtung d. Blätter an orthotropen Sprossen. Bot. Ztg. 1909. I Abt., p. 67.

тропныхъ побѣговъ способны изгибаться кверху. Если имѣются пазушные побѣги, то они образуютъ изгибы къ главной оси, а листья сохраняютъ свое положеніе. Если такой побѣгъ удалить, то листъ изгибается; если же во время операціи удаленія вершины имѣется только пазушная почка и побѣгъ вырастаетъ послѣ того, какъ листъ уже выпрямился, то листъ отгибается обратно книзу. Чѣмъ ближе къ срѣзу находятся листья, тѣмъ болѣе они измѣняютъ свое направленіе. Пораненія другого рода и загипсовываніе вершины не вызываютъ изгибовъ листьевъ. На клиностатѣ устраненіе вершины оказываетъ почти то же вліяніе.

Чрезвычайно интересные сами по себѣ опыты Bässler'а и Vöchting'а не содержатъ однако данныхъ, на основаніи которыхъ можно было бы съ увѣренностью заключить, что здѣсь мы имѣемъ дѣло съ измѣненіями геотропизма. Такъ какъ въ опытахъ Bässler'а изгибы происходили и на клиностатѣ, а съ другой стороны ни до операціи, ни послѣ нея геотропическія свойства листьевъ не были изслѣдованы, то и нельзя рѣшить, какую роль въ этихъ явленіяхъ играло вліяніе силы тяжести.

2. Превращенія геотропизма, связанныя съ измѣненіями морфологическихъ свойствъ побѣга.

Повидимому, можетъ случиться, что вслѣдствіе удаленія верхней части стебля непосредственно измѣняются морфологическія свойства одного изъ растущихъ побѣговъ и въ связи съ этимъ происходитъ превращеніе его геотропическихъ свойствъ.

Болѣе или менѣе вѣроятнымъ это является въ нѣкоторыхъ случаяхъ превращенія горизонтальныхъ или наклонныхъ геофильныхъ побѣговъ въ вертикально растующіе, облиственные, когда оно вызывается удаленіемъ имѣющагося вертикальнаго стебля. Подобное превращеніе описано, съ нѣкоторой степенью точности, Göbel'емъ[1]); въ этомъ описаніи даны подробности, по которымъ можно предположительно судить о послѣдовательности измѣненій. Оно относится къ Sparganium racemosum[2]). Для опыта служилъ экземпляръ, культивировавшійся за стекломъ въ Саксовскомъ ящикѣ и образовавшій наклонный побѣгъ длиною въ 1 см. Этотъ побѣгъ росъ въ землѣ, направляясь внизъ подъ угломъ въ 40°. Главный стебель (вертикальный) 18-го мая былъ отрѣзанъ. Побѣгъ, прилегавшій въ землѣ къ стеклянной стѣнкѣ ящика, вначалѣ продолжалъ расти въ прежнемъ направленіи и удлинился на 1 см. Только черезъ недѣлю вершина его направилась горизонтально, послѣ того онъ изогнулся вверхъ и, еще 10 дней спустя, листья его показались надъ поверхностью земли. Здѣсь, слѣдовательно, геотропическія свойства побѣга измѣнились не сразу послѣ удаленія вертикальнаго стебля, хотя ростъ продолжался. Впрочемъ, не это имѣетъ рѣшающее значеніе. Нѣкоторое право предполагать, что превращеніе геотропизма находилось въ связи съ измѣненіемъ морфологическихъ свойствъ, даетъ то обстоятельство, (на что Göbel

1) Göbel, K. Beiträge zur Morphologie u. Physiologie des Blattes. Bot. Ztg. 1880, p. 819.

2) Аналогичные результаты, по указанію Göbel'я, даютъ опыты съ Circaea и Sagittaria sagittaefolia.

обращаетъ особенное вниманіе), что для подобныхъ опытовъ годятся только такія растенія, у которыхъ геотропическая чувствительность побѣговъ періодически измѣняется въ связи съ образованіемъ облиственнаго стебля изъ конечной почки горизонтальнаго побѣга[1]). По существу здѣсь, слѣдовательно, происходитъ только преждевременное превращеніе свойствъ конечной почки, и новая форма геотропизма проявляется, хотя и въ предѣлахъ того же самаго побѣга, но въ междоузліяхъ, развивавшихся при иныхъ условіяхъ и имѣющихъ иное строеніе, чѣмъ тѣ, которымъ принадлежитъ прежняя форма. Короче сказать, не одинаковая способность реагировать на вліяніе силы тяжести здѣсь пріурочена къ разнымъ зонамъ побѣга[2]).

3. Образованіе новыхъ замѣняющихъ органовъ.

Замѣна поврежденнаго главнаго корня боковымъ гораздо рѣже достигается измѣненіемъ свойствъ уже имѣющихся въ это время боковыхъ корней, чѣмъ образованіемъ новыхъ, съ самаго начала направляющихся болѣе наклонно или даже отвѣсно внизъ и по своему строенію приближающихся къ главной оси. Въ этомъ послѣднемъ случаѣ дѣйствительнаго превращенія геотропизма не происходитъ: для замѣны главной оси возникаетъ новый органъ, подобный ей и обнаруживающій иныя геотропическія свойства, чѣмъ тѣ, которыя имѣла бы ось второго порядка, если бы она развилась на его мѣстѣ при нормальныхъ условіяхъ. Замѣняющіе корни отличаются отъ нормальныхъ боковыхъ и сходны съ главными даже въ крупныхъ чертахъ анатомическаго строенія, какъ можно видѣть изъ результатовъ изслѣдованія Boirivant'a (l. c.). Конечно, нѣтъ основанія установленныя имъ измѣненія считать обусловливающими новыя геотропическія свойства, но они показываютъ, насколько глубоко различіе между тѣмъ и другимъ родомъ органовъ.

Имѣющіяся въ литературѣ данныя относятся, главнымъ образомъ, къ боковымъ корнямъ, появляющимся уже послѣ операціи, но при этомъ, къ сожалѣнію, обыкновенно авторы не дѣлаютъ различія между корнями, которые уже существовали въ это время въ видѣ зачатковъ и такими, которые залагались позже.

Первое указаніе на то, что геотропическія свойства боковыхъ корней измѣняются вслѣдствіе удаленія конца главнаго корня, принадлежитъ Саксу[3]) и относится къ росту именно такихъ корней, которые появились послѣ поврежденія главнаго. Но свои наблюденія Саксъ излагаетъ настолько кратко, что не представляется возможности сравнить ихъ

---

1) «Es ist hier übrigens hervorzuheben, dass nur solche Pflanzen sich zu den besprochenen Versuchen eignen, bei denen die Ausläufer wirklich eine periodische (разрядка автора) geotropische Empfindlichkeit besitzen» (p. 819).

2) Carl Kraus (Ursachen der Richtung wachsender Laubsprosse. Flora. 1878, p. 324) еще раньше указывалъ, что растущіе въ землѣ побѣги картофеля и земляной груши выходятъ на поверхность, если срѣзать облиственные стебли, но это случается иногда (въ сырое лѣто) и само по себѣ. Göbel считаетъ происходящія здѣсь измѣненія аналогичными тѣмъ, которыя онъ описалъ. Однако въ виду того, что Kraus совершенно никакихъ подробностей не сообщаетъ, едва ли можно составить объ этомъ случаѣ опредѣленное сужденіе.

3) Sachs, J. Ueber d. Wachsthum d. Haupt- und Nebenwurzeln. Arb. d. bot. Inst. in Würzburg. Bd. 1, p. 622. 1874.

съ данными новѣйшихъ авторовъ; такъ, напр., нельзя даже рѣшить, были ли боковые корни заложены до операціи, или послѣ нея. Описаніе опытовъ ограничивается слѣдующимъ: «если главный корень (длина его или возрастъ не указаны) перерѣзать на разстояніи 3 или 4 см. отъ основанія, то боковые корни, которые послѣ этого пробиваются вблизи отъ срѣза, въ гораздо большей степени обладаютъ способностью направляться отвѣсно внизъ, чѣмъ удаленные отъ него (срѣза). Это проявляется особенно поразительно въ томъ случаѣ, если культивировать проростки, отрѣзавъ кончикъ главнаго корня, въ обратномъ положеніи; въ то время какъ болѣе удаленные отъ срѣза боковые корни образуютъ предѣльный уголъ въ 50—70°, выходящіе подъ самымъ срѣзомъ — изгибаются такъ сильно, что затѣмъ растутъ почти отвѣсно внизъ или образуютъ предѣльный уголъ въ 10—20°».

Boirivant (l. c., p. 315), изслѣдовавшій корни многихъ видовъ растеній, относительно направленія ихъ дополнилъ наблюденія Сакса указаніемъ, что замѣняющіе боковые корни могутъ совершенно не имѣть изгибовъ, а именно въ томъ случаѣ, когда они выходятъ наружу изъ самой поверхности срѣза [1]); далѣе такой корень быстро развивается и принимаетъ видъ главнаго. Это часто случается, если подвергнуть операціи очень молодые корни, длиною въ 3—4 см., которые еще не имѣютъ развѣтвленій. Образующіеся впослѣдствіи боковые корни, сверхъ упомянутыхъ, направляются различно, смотря по мѣсту происхожденія: около основанія главнаго корня они растутъ подъ такимъ же предѣльнымъ угломъ, какъ и въ нормальныхъ условіяхъ, вблизи срѣза — все болѣе и болѣе наклонно. Если же разрѣзъ сдѣлать въ такой части, гдѣ уже есть боковые корни (слѣдовательно, на болѣе поздней стадіи развитія), то роль главнаго корня принимаютъ на себя уже имѣющіяся на лицо его вѣтви, растущія вблизи срѣза, концы которыхъ и принимаютъ вертикальное направленіе, о чемъ выше было упомянуто [2]).

Bruck [3]) въ своихъ опытахъ обратилъ особенное вниманіе на геотропическія свойства боковыхъ корней. Сущность его выводовъ можетъ быть формулирована въ одномъ положеніи: боковымъ корнямъ, съ самаго возникновенія ихъ зачатковъ, присуща та или другая форма геотропизма въ зависимости отъ того, залагаются ли они до или послѣ удаленія конца главнаго корня, и при послѣдующемъ развитіи она не можетъ измѣниться [4]). Однако, какъ мы увидимъ далѣе, онъ самъ же получилъ результаты, опровергающіе это положеніе. Возражая противъ данныхъ Boirivant'а, онъ указываетъ, что косое или отвѣсное направленіе боковые корни принимаютъ послѣ операціи только въ томъ случаѣ, если разрѣзъ сдѣланъ въ зонѣ роста, т. е., слѣдовательно, если остается такая часть, въ которой еще

---

1) Но, повидимому, это не всегда такъ бываетъ: въ описаніи опытовъ надъ лупиномъ упоминается, что иногда такіе замѣняющіе корни вначалѣ растутъ нѣсколько наклонно, затѣмъ изгибаются, чтобы принять вертикальное направленіе. Впрочемъ, по описанію нельзя съ полной увѣренностью рѣшить, что авторъ имѣлъ въ виду именно тѣ корни, которые возникаютъ изъ срѣза.

2) Иногда, какъ и въ предыдущемъ случаѣ, къ нимъ присоединяются и вновь образующіеся, выходящіе черезъ самый срѣзъ боковые корни.

3) Bruck, W. Fr. Uuntersuch. über d. Einfluss von Aussenbedingungen auf die Orientierung d. Seitenwurzeln. Ztschr. f. Allg. Physiol. Bd. 3, p. 486. 1904.

4) «Es kommt also die Fähigkeit zu korrelativem Stimmungswechsel niemals den vorhandenen (auch nur zu geringem Grade ausgebildeten) Anlagen zu», p. 508—509.

нѣтъ зачатковъ боковыхъ корней. Если же отрѣзать конецъ выше зоны роста, то пробивающіеся боковые корни не отличаются по направленію отъ возникающихъ при нормальныхъ условіяхъ. Кромѣ этихъ результатовъ, Bruck основываетъ свое мнѣніе еще и на томъ, что зачатки боковыхъ корней, залагающихся послѣ декапитированія (какъ видно на разрѣзахъ), уже съ самаго начала, находясь внутри коры главнаго корня, образуютъ изгибы внизъ (изслѣдованіе производилось черезъ 56 часовъ послѣ операціи), тогда какъ, если сдѣлать разрѣзъ выше зоны роста, то въ оставшейся верхней части боковые корни, которые уже имѣлись въ видѣ зачатковъ, принявшихъ направленіе, опредѣляемое предѣльнымъ угломъ, сохраняютъ его и послѣ удаленія главнаго корня.

Однако самъ же Bruck наблюдалъ, что во второмъ случаѣ иногда боковые корни, развивавшіеся изъ тѣхъ зачатковъ, которые находились у самаго срѣза, направлялись такъ же, какъ и при нормальныхъ условіяхъ, только на короткомъ протяженіи, а затѣмъ изгибались и принимали отвѣсное направленіе. Здѣсь, слѣдовательно, очевидно происходитъ коррелативное измѣненіе геотропическихъ свойствъ.

Bruck пытается это объяснить предположеніемъ, что здѣсь геотропическія свойствъ еще не успѣли закрѣпиться[1]), вступая такимъ образомъ въ противорѣчіе съ самимъ собою, такъ какъ передъ тѣмъ только что онъ утверждалъ, что даже и самые молодые зачатки никогда не имѣютъ способности къ коррелативному измѣненію геотропическаго настроенія.

Доказательство того, что несмотря на долгое фиксированіе геотропическія свойства подвержены коррелативнымъ измѣненіямъ, могъ бы доставить слѣдующій чрезвычайно интересный опытъ самого же Bruck'а (относящійся впрочемъ къ главному, а не къ придаточному корню), если принять толкованіе, которое даетъ полученному результату авторъ. Интересно здѣсь и то, что именно съ такою цѣлью опытъ и былъ сдѣланъ. Задача состояла въ томъ, чтобы превратить главный корень въ плагіотропный органъ. Нижній конецъ корня заливался гипсомъ на такомъ разстояніи, чтобы вся зона роста была загипсована, и приводился въ горизонтальное положеніе (въ землѣ). Спустя нѣкоторое время (срокъ не указанъ), когда развившіеся боковые корни принимали вертикальное направленіе, гипсовая повязка снималась, и проростокъ попрежнему оставлялся въ горизонтальномъ положеніи. Главный корень вновь начиналъ расти, но вначалѣ онъ сохранялъ приданное ему горизонтальное направленіе, а затѣмъ нѣсколько изгибался и росъ подъ такимъ угломъ съ отвѣсной линіей, который соотвѣтствовалъ предѣльному углу боковыхъ корней въ нормальныхъ условіяхъ. Такимъ образомъ посредствомъ временной только задержки роста и передачи функцій главнаго корня боковымъ было якобы достигнуто то, что его геотропическія свойства, закрѣ-

1) «In Fall 5 (т. е. описанномъ здѣсь) folgten die Wurzeln anfänglich ihrer ursprünglichen Induktion (der horizontalen) und je nachdem die durch das selbstregulatorische Walten infolge der Verwundung hervorgerufenen Impulse strärker waren, als die den Anlagen bereits induzierten geotropischen, aus denen normaliter die schräge Richtung resultiert, wurde die Nebenwurzel im weiteren Verlauf ihres Wachstums spitzer oder gar vertikal gerichtet. Der letztere Fall wird besonders dann eintreten, wenn die Nebenwurzelanlage bei Führung des Schnittes noch nicht weit entwickelt und im Zusammenhange damit ihre horizontale geotropische Eigenschaft noch nicht als dauernde Eigenschaft fixiert war». (S. 509).

пленныя и въ индивидуальной жизни, и наслѣдственной передачей, претерпѣли коррелативное измѣненіе, которое, по выше приведенному мнѣнію автора, не можетъ быть вызвано даже и у самыхъ молодыхъ зачатковъ боковыхъ корней, хотя формы геотропизма ихъ вообще такъ подвижны и неустойчивы. Какъ бы то ни было, самъ по себѣ полученный результатъ представляется въ высшей степени важнымъ для теоретическихъ соображеній о томъ вліяніи главной оси, отъ котораго зависитъ направленіе ея вѣтвей. И дѣйствительно, Errera, стараясь уяснить общій характеръ этого вліянія и останавливаясь на предположеніи, что отъ главной оси исходятъ угнетающіе импульсы, приводитъ опытъ Bruck'а, какъ иллюстрацію, показывающую, что разъ способность посылать такіе импульсы перешла къ боковымъ корнямъ, то главная ось по возобновленіи роста принуждена сама подчиниться имъ и занять то положеніе, которое раньше она предписывала боковымъ органамъ[1]). Къ сожалѣнію, никѣмъ этотъ опытъ не былъ повторенъ, но, кажется, гораздо болѣе простое толкованіе, которое даетъ ему Nordhausen (l. c., p. 568), скорѣе соотвѣтствуетъ дѣйствительности. Ссылаясь на указаніе Němec'а[2]), что долговременное пребываніе въ гипсовой повязкѣ лишаетъ корень на извѣстное время способности реагировать на геотропическое раздраженіе, хотя и не уничтожаетъ способности къ росту, онъ высказываетъ предположеніе, что и въ случаѣ Bruck'а было то же самое и что, если бы опытъ былъ продолженъ, то способность къ реакціи возвратилась бы и корень, навѣрное, въ концѣ концовъ принялъ бы вертикальное направленіе.

Bruck въ разсматриваемой статьѣ описалъ еще рядъ опытовъ, доказывающихъ, что перемѣна направленія боковыхъ корней зависитъ именно отъ ихъ геотропическихъ свойствъ. Такъ, напримѣръ, онъ наблюдалъ, что на клиностатѣ боковые корни, образующіеся послѣ удаленія верхушки главнаго (разрѣзъ былъ сдѣланъ въ предѣлахъ зоны роста), растутъ въ томъ же направленіи, какъ и на неповрежденномъ корнѣ[3]).

Эти опыты впослѣдствіи были повторены Nordhausen'омъ (l. c., p. 565) и дали ему совершенно противоположный результатъ. Боковые корни вырастали подъ гораздо болѣе острымъ угломъ съ декапитированнымъ главнымъ корнемъ, чѣмъ при нормальныхъ условіяхъ, и даже вполнѣ параллельно ему. Наилучшіе результаты получались, когда разрѣзъ проводился въ предѣлахъ зоны роста, но боковые корни по временамъ достигали направленія, параллельнаго главному корню, и въ томъ случаѣ, когда гораздо болѣе значительная часть его отрѣзывалась[4]). Nordhausen полагаетъ однако, что направленіе замѣняющихъ корней обусловливается не только этими автономными изгибами, но также и измѣненіемъ

---

1) Errera, L. Conflits de préséance et excitations inhibitoires chez les végétaux. Recueil de l'Inst. Bot. Léo Errera. T. VI, p. 125. Bull. de la Soc. r. de Bot. de Belgique. T. 42. 1905.

2) Němec, B. Ueber d. Art der Wahrnehmung des Schwerkraftreizes bei den Pflanzen. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 18, p. 214. 1900.

3) Подобный же результатъ получилъ ранѣе Czapek (Ueber d. Richtungsursachen d. Nebenwurzeln u.s.w. Sitzungsber d. k. Akad. in Wien. Bd. 104. Abt. I, p. 1253. 1895); но своихъ опытовъ онъ совершенно не описываетъ, только упоминаетъ о нихъ.

4) Отрицательные результаты Bruck'а авторъ объясняетъ тѣмъ, что въ опытахъ Bruck'а корни находились не въ землѣ, а въ насыщенномъ парами воздухѣ.

ихъ геотропическихъ свойствъ. Это особенно ясно показываютъ опыты надъ проростками, приводившимися въ обратное положеніе послѣ декапитаціи главнаго корня, которые выше были разсмотрѣны. Данныя опытовъ Nordhausen'а вообще не подтверждаютъ мнѣнія Bruck'а о зависимости геотропическихъ свойствъ боковыхъ корней отъ того, образовались они до или послѣ операціи (l. c., p. 561—562).

Кромѣ того, слѣдуетъ отмѣтить, что образованіе замѣняющихъ боковыхъ корней въ опытахъ Nordhausen'а вызывалось не только удаленіемъ конца главнаго корня. Точно также дѣйствовало разрушеніе проводящихъ тканей центральнаго цилиндра. Что касается сосудистыхъ пучковъ, то достаточно было перерѣзать одинъ изъ нихъ (у Lupinus, который имѣетъ діархные корни), чтобы на соотвѣтствующей сторонѣ образующіеся впослѣдствіи боковые корни приняли почти отвѣсное направленіе, но лубяныя части должны быть разрушены обѣ, такъ какъ иначе боковые корни сохраняютъ свое направленіе.

Подобный же эффектъ вызывало наложеніе гипсовой повязки (какъ это наблюдалъ и Bruck), а также и временный недостатокъ воды. Если проростокъ, у котораго боковые корни еще не образовались, помѣщался на нѣкоторое время въ воздухѣ, насыщенномъ парами воды, то затѣмъ, уже въ землѣ, боковые корни принимали очень наклонное или отвѣсное направленіе. Такъ какъ то же самое происходило, если до появленія боковыхъ корней на 3—4 дня главный корень помѣщался въ 10—15% растворъ сахара, а съ другой стороны предварительное пребываніе въ воздухѣ, насыщенномъ парами воды не оказывало вліянія, если черезъ сѣмядоли и надсѣмядольное колѣно, остававшіяся въ землѣ, растенію доставлялось большое количество воды или если кончикъ главнаго корня былъ погруженъ въ воду, то отсюда авторъ справедливо заключаетъ, что именно недостатокъ воды, а не вліяніе воздуха самого по себѣ является причиной того, что боковые корни принимаютъ впослѣдствіи отвѣсное направленіе. Онъ не считаетъ это измѣненіе тожественнымъ съ тѣмъ, которое вызывается угнетеніемъ роста главнаго корня, потому что въ данномъ случаѣ гораздо бóльшее число боковыхъ корней, считая по ортостихѣ, растетъ по измѣненному направленію; то же самое происходитъ, если помѣстить во влажный воздухъ корни длиною въ 5—7 см., отрѣзавъ у нихъ конецъ въ 1 см. (т. е. всю зону роста): всѣ боковые корни вырастаютъ почти отвѣсно, тогда какъ у контрольныхъ растеній (также декапитированныхъ, но получавшихъ достаточное количество воды) измѣненное направленіе наблюдалось только у боковыхъ корней, образовавшихся на очень короткомъ протяженіи отъ срѣза.

Относительно замѣны главнаго стебля у травянистыхъ растеній Sachs[1]) указываетъ, что если отрѣзать почечку у проростка Phaseolus miltiflorus, то изъ пазушныхъ почекъ сѣмядолей вырастаютъ вертикальные побѣги, между тѣмъ какъ при нормальныхъ условіяхъ эти почки не развиваются. Boirivant[1]) изслѣдовалъ подробнѣе замѣняющіе побѣги

---

1) Sachs, J. Vorlesungen über Pflanzen-Physiologie. 1882, p. 613.

2) Boirivant. Recherches zur les organes de remplacement. Ann. des Sc. nat. 8 Série. T. 6, p. 354. 1897.

у нѣсколькихъ видовъ и указалъ, что они возникаютъ изъ почекъ, заложенныхъ въ пазухахъ сѣмядолей или листьевъ, смотря потому, въ какомъ мѣстѣ перерѣзать стебель.

4. Замѣна вершины ствола вѣтвью у древесныхъ растеній.

Замѣна погибшей или искусственно устраненной вершины ствола вѣтвью у древесныхъ растеній достигается различными способами, но фактическія свѣдѣнія о томъ, какъ совершается самый переходъ отъ плагіотропнаго роста къ ортотропному, крайне скудны, вслѣдствіе чего въ большинствѣ случаевъ представляется невозможнымъ судить, происходитъ ли дѣйствительно при этомъ превращеніе геотропизма, и если происходитъ, то въ какое время и въ какой зонѣ замѣняющаго побѣга.

Если мы обратимся къ тѣмъ случаямъ, которые описаны въ литературѣ болѣе или менѣе подробно, то увидимъ, что послѣ устраненія вершины, напр., у ели или пихты, изгибы не образуются въ зонѣ роста тѣхъ молодыхъ, растущихъ въ длину побѣговъ даннаго года, которыми оканчиваются вѣтви, какъ этого можно было бы ожидать, а происходятъ въ другомъ мѣстѣ. Вотъ описаніе одного изъ такихъ случаевъ, приводимаго Sachs'омъ[1]), какъ «ein exquisites Beispiel»: «Шесть лѣтъ тому назадъ въ Вюрцбургскомъ саду у одного экземпляра Abies Cephalonica въ маѣ вершина погибла отъ ночного заморозка; лѣтомъ три верхнія вѣтви предыдущаго года, уже сильно одревеснѣвшія, начали подниматься, но скоро одна изъ нихъ одержала верхъ надъ остальными; за два слѣдующія лѣта она настолько изогнулась въ части, уже одревеснѣвшей, что конецъ ея росъ вертикально вверхъ; двѣ другія — остались наклонными»[2]).

Подобныя же указанія мы находимъ въ статьѣ Errera[3]), но въ томъ случаѣ, который онъ наблюдалъ, изгибались при основаніи вѣтви еще болѣе поздняго возраста: въ изложеніи это не отмѣчено, но на рисункѣ (фотографическій снимокъ) видно, что обломленная и свѣсившаяся вершина имѣла не менѣе двухъ (ложныхъ) мутовокъ. Объектомъ наблюденія служили два дерева (Picea excelsa), у которыхъ 30 іюля случайно были сломаны вершины; измѣненія стали обнаруживаться только съ іюня слѣдующаго года, и въ августѣ двѣ вѣтви приняли направленіе, близкое къ вертикальному, изогнувшись при основаніи.

Другіе способы замѣны состоятъ въ слѣдующемъ. Далеко не всегда роль утраченной вершины переходитъ къ одной изъ имѣющихся уже въ это время боковыхъ вѣтвей. Sachs указываетъ въ своемъ учебникѣ[4]), что у Abies pectinata и близкихъ къ ней видовъ, послѣ устраненія вершины (иногда черезъ 1 или 2 года), начинаютъ развиваться *спящія почки*,

---

1) Sachs, J. Ueber orthotrope und plagiotrope Pflanzentheile. Arb. d. bot. Inst. in Würzburg. Bd. 2, p. 280. 1879.

2) Послѣ устраненія вершины у елей (Rothtanne) по наблюденіямъ Sachs'a (Vorlesungen über Pflanzen-Physiologie, p. 613. 1882) нерѣдко случается, что двѣ или три вѣтви превращаются такимъ образомъ въ самостоятельныя вершины.

3) Errera, L. Conflits de préséance et excitations inhibitoires chez les végétaux. Recueil de l'Institut Bot. Léo Errera. T. VI, p. 127. 1906.

4) Sachs, J. Vorlesungen über Pflanzen-Physiologie. 1882, p. 613.

находящіяся на верхней поверхности ближайшихъ къ срѣзу вѣтвей; одинъ изъ побѣговъ, возникшихъ, такимъ образомъ, обыкновенно растетъ сильнѣе другихъ и черезъ нѣсколько лѣтъ превращается въ новую вершину обычнаго строенія.

Busse[1]) впослѣдствіи оспаривалъ указанія Sachs'a, утверждая, что и у пихты (Abies alba Mill.)[2]) нормальнымъ способомъ замѣны является изгибъ кверху одной или нѣсколькихъ вѣтвей; развитіе же спящихъ почекъ или короткихъ побѣговъ (несущихъ листья) происходитъ рѣдко и именно въ томъ случаѣ, если ни одна вѣтвь (по причинамъ, ускользающимъ отъ изслѣдованія) не начнетъ подниматься[3]). Напротивъ, у ели, по наблюденіямъ Busse, замѣняющіе побѣги часто возникаютъ изъ спящихъ почекъ. Однако, Дарвинъ[4]) указывалъ, что у ели (spruce-fir, Abies communis)[5]) вѣтви поднимаются не только вслѣдствіе утраты вершины, но также нерѣдко и у цѣльныхъ деревьевъ, именно въ томъ случаѣ, когда они бываютъ нѣсколько болѣзненными (growing unhealthily), хотя бы самая вершина и оставалась, повидимому, здоровой.

У Araucaria excelsa боковыя оси не могутъ измѣнять своихъ свойствъ: если устранить вершину, то ни одна изъ нихъ не поднимается для замѣны ея, но у верхняго конца оставшейся части въ пазухѣ листа развивается побѣгъ, растущій вертикально и превращающійся въ вершину[6]), иногда такихъ побѣговъ образуется нѣсколько. Vöchting приводитъ имѣющіяся въ литературѣ указанія, что у араукаріи также иногда горизонтальныя вѣтви перваго порядка могутъ замѣнять утраченную вершину, но отмѣчаетъ, что самъ онъ никогда подобныхъ случаевъ не наблюдалъ. Замѣна исключительно посредствомъ вновь образующихся побѣговъ здѣсь тѣмъ болѣе вѣроятна, что отрѣзанныя горизонтальныя вѣтви, примѣненныя въ качествѣ отводковъ, хотя и могутъ укореняться, но сохраняютъ при этомъ плагіотропное положеніе и не превращаются въ полный экземпляръ.

У сосны (Pinus silvestris) Boirivaut описываетъ три способа замѣны, въ зависимости отъ того, какая часть вершины удалена[7]). Какъ извѣстно, у сосны имѣются побѣги двухъ родовъ: длинные, покрытые чешуйчатыми листьями, и короткіе, почти не развивающіеся, несущіе игольчатые листья. Главная ось оканчивается почкой, подъ которой имѣется (ложная) мутовка другихъ почекъ, развивающихся при нормальныхъ условіяхъ въ боковыя вѣтви. Если срѣзать конечную почку, то нѣкоторые побѣги, образовавшіеся изъ почекъ мутовки, на-

---

1) Busse, W. Beiträge zur Kenntnis d. Morphologie u. Jahresperiode d. Weisstanne (Abies alba Mill.) Flora. Bd. 77, p. 144. 1893.

2) Синонимъ Abies pectinata D.C. По указанію Сакса (Vorlesungen über Pflänzen-Physiologie. Leipzig. 1882, p. 612), Abies Cephalonica — видъ, очень близкій къ Abies excelsa. Но Abies excelsa D.C. въ настоящее время относится къ роду Picea Link. (подъ именемъ Picea excelsa Lk.), тогда какъ Abies Cephalonica Lk. по прежнему къ роду Abies Lk. (Beissner. Handbuch. d. Nadelholzkunde. Berlin. 1891. 351).

3) Hartig, R. (Holzuntersu chungen. Berlin. 1901, p. 92) высказываетъ мнѣніе, что это происходитъ вслѣдствіе недостатка свѣта.

4) Darwin, Ch. and Fr. The Power of Movement in Plants. London. 1880, p. 188.

5) У Beissner'a въ «Handbuch. d. Nadelholzkunde» Abies communis не упоминается; въ нѣмецкомъ переводѣ Carus'a (Darwin. Das Bewegungsvermögen d. Pfl. Stuttgart. 1881, p. 160—161) spruce-fir названа Rothtanne.

6) Vöchting, H. Ueber die Regeneration der Araucaria excelsa. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 40, p. 144. 1904.

7) Boirivant. Rech. sur les organes de remplacement. Ann. des Sc. nat. 8 Série. T. 6, p. 345. 1897.

правляются вертикально и принимаютъ на себя роль вершины. Если же срѣзать конецъ ствола на нѣсколько сантиметровъ ниже этой мутовки, то возможны два случая. Во-первыхъ, для замѣны могутъ служить короткіе побѣги, расположенные близъ срѣза, которые иногда удлиняются и принимаютъ вертикальное направленіе; образовавшуюся такимъ путемъ вершину вторичнаго происхожденія можно узнать по присутствію удаленныхъ другъ отъ друга игольчатыхъ листьевъ на нижней части ея[1]). Во-вторыхъ, одна изъ большихъ вѣтвей, расположенныхъ ниже, можетъ изогнуться кверху и замѣнить утраченную вершину. Часто бываетъ, что и то, и другое происходитъ одновременно, т.-е. вертикальное направленіе принимаютъ и вѣтви, и короткіе побѣги.

Boirivant не описываетъ подробнѣе перехода боковыхъ вѣтвей къ ортотропному росту, но по даннымъ другихъ источниковъ можно придти къ заключенію, что и у сосны вѣтви изгибаются въ части уже одревеснѣвшей, а иногда и многолѣтней, хотя большинство имѣющихся въ литературѣ указаній[2]) относится не къ самому процессу перехода отъ одного направленія къ другому, а къ формѣ ствола въ окончательномъ видѣ послѣ происшедшей замѣны. Такъ, напр., Duval-Jouve сообщаетъ, что онъ наблюдалъ изгибы вѣтвей у такихъ соссенъ, которыя были лишены верхней части ствола, имѣвшаго 15 см. въ діаметрѣ: «Enfin nous avons constaté le même fait, avec des dimensions gigantesques, sur des Pins qui avaient été mutilés alors que leur tronc avait déjà 15 centimètres de diamètre. Un et quelquefois deux rameaux de verticille ont repris la direction verticale au moyen d'une immense courbure» (l. c., p. 511).

Кромѣ одиночныхъ изгибовъ, которые придаютъ вершинѣ дерева штыковидную форму, Duval-Jouve и André описываютъ еще тройные изгибы: вертикально растущій конецъ замѣняющей вѣтви иногда почему-то изгибается въ сторону утраченной вершины, растетъ нѣкоторое время горизонтально и затѣмъ вновь изгибается вверхъ. Duval-Jouve полагалъ, что второй изгибъ вызывается одностороннимъ освѣщеніемъ. Едва ли можно съ этимъ согласиться, потому что нерѣдко двѣ вѣтви съ противоположныхъ сторонъ ствола, изгибаются подобнымъ образомъ, какъ это описано и зарисовано André. Пока самый процессъ образованія этихъ изгибовъ не изслѣдованъ, трудно высказать какія либо соображенія о причинѣ ихъ.

Въ явленіяхъ замѣны главной оси боковою особенно поражаетъ способность къ изгибу одревеснѣвшихъ частей вѣтви. Jost[3]) прослѣдилъ образованіе изгиба вѣтвью, которой было не менѣе семи лѣтъ. У пихты вышиною въ $3^1/_2$ метра въ началѣ лѣта (7 іюня) была уда-

---

1) Такой способъ замѣны былъ отмѣченъ еще Hofmeister'омъ (Allgemeine Morphologie d. Gewächse. Leipzig. 1868, p. 606) и Göbel'емъ (Bot. Ztg. 1880, p. 820).

2) Kunze. Einige Fälle von Umwandlung der Nebenaxen in Hauptaxen bei den Abietineen. Flora. 1851, p. 145.

Duval-Jouve, J. Sur une déformation des tiges du Pinus silvestris L. Bull. de la Soc. bot. de France. T. 5, p. 511. 1858.

André. La lutte pour l'existence chez les végétaux. Revue horticole. T. 59, p. 10. 1887.

Vallot, J. Le Sapin et ses déformations. Paris. 1887.

3) Jost, L. Ueber einige Eigenthümlichkeiten des Cambiums der Bäume. Bot. Zeitung. 1901. I Abth., p. 22.

лена верхняя часть. Изъ вѣтвей мутовки, ближайшей къ срѣзу были оставлены только двѣ наиболѣе сильныя, другія были удалены. Оставшіяся (семилѣтнія) вѣтви до конца лѣта сохраняли приблизительно то же положеніе, что и раньше, но въ слѣдующій періодъ вегетаціи онѣ образовали значительные (recht beträchtliche) изгибы *при основаніи*. R. Hartig[1]) указываетъ, что подобные изгибы могутъ образоваться у 12-лѣтнихъ вѣтвей и даже въ еще болѣе позднемъ возрастѣ.

* * *

Если въ явленіяхъ замѣны утраченной вершины боковою вѣтвью участвуютъ превращенія геотропизма, то скорѣе всего можно было бы предположить, что новыя геотропическія свойства пріобрѣтаются побѣгами, находящимися на концахъ вѣтвей, замѣняющихъ собою вершину, но при этомъ слѣдовало бы ожидать, что измѣненія свойствъ этихъ побѣговъ будутъ совершенно иными у видовъ сосны, чѣмъ у видовъ Abies и Picea. У соснъ въ началѣ періода вегетаціи всѣ длинные молодые побѣги, какъ тѣ, которые развиваются изъ конечной почки, такъ и расположенные ложной мутовкой при основаніи этихъ конечныхъ побѣговъ, направляются вертикально. Можно было бы предполагать, что послѣ устраненія вершины нѣкоторые изъ нихъ такъ и останутся въ этомъ положеніи. У видовъ пихты и ели представляется вѣроятнымъ, что молодые конечные (горизонтальные) побѣги, которымъ предстоитъ замѣнить вершину, примутъ вертикальное направленіе, т. е., слѣдовательно, если считать ихъ трансверсально-геотропичными, — измѣнятъ свое отношеніе къ силѣ тяжести. Но о судьбѣ этихъ молодыхъ побѣговъ послѣ устраненія вершины мнѣ не встрѣтилось указаній; повидимому, остается неизвѣстнымъ, сохраняютъ ли они прежнее положеніе у пихты и подобныхъ ей видовъ и производятъ ли обычныя движенія у видовъ сосны, или же постоянно мѣняютъ свое направленіе соотвѣтственно тому, насколько поднимается вся вѣтвь, изгибаясь при основаніи. Поэтому всѣ разсужденія о возможности дѣйствительныхъ превращеній геотропизма въ этихъ случаяхъ были бы гадательны. Одно можно сказать. Если признавать, что горизонтальное направленіе молодыхъ побѣговъ пихты и ели обусловливается трансверсальнымъ геотропизмомъ[2]), то слѣдуетъ заключить, что во время перехода къ ортотропному росту тѣмъ или другимъ путемъ происходитъ измѣненіе геотропическихъ свойствъ конечныхъ молодыхъ побѣговъ, такъ какъ въ концѣ концовъ (иногда черезъ нѣсколько періодовъ вегетаціи) они обнаруживаютъ отрицательный геотропизмъ. Но даже и такой неопредѣленный выводъ все еще былъ бы преждевременнымъ.

Въ заключеніе слѣдуетъ отмѣтить одно весьма важное въ теоретическомъ отношеніи обстоятельство. Для того, чтобы побѣгъ второго порядка принялъ на себя роль вершины, нѣтъ надобности устранять ее совершенно: достаточно затруднить сообщеніе ея съ осталь-

1) Hartig, R. Holzuntersuchungen. Berlin. 1901, p. 88.

2) Что относительно ели Баранецкій отрицаетъ. («О причинахъ направленія вѣтвей деревьевъ и кустарниковъ» Отд. оттискъ изъ «Зап. Кіевск. Общ. Ест.», стр. 76, 77).

ными частями растенія. Такъ Дарвинъ[1]) нашелъ, что у ели боковая вѣтвь изгибается кверху и въ томъ случаѣ, если верхушечный побѣгъ туго перевязать проволокой. Исходя изъ предположенія, что ортотропный или плагіотропный ростъ опредѣляется бо́льшимъ или меньшимъ притокомъ питательныхъ веществъ, онъ и сдѣлалъ попытку, не устраняя вершины, ослабить доступъ соковъ къ ней. Для этой цѣли концы главной оси и всѣхъ ближайшихъ къ ней боковыхъ, за исключеніемъ одной, были перетянуты проволокой. Въ это время (14 іюля) оставшаяся свободной вѣтвь была направлена подъ угломъ въ 8° съ горизонтомъ; къ 8 сентября она поднялась на 35°, а къ 4 октября — на 46°; послѣднее указаніе относится къ 26 января, когда она оказалась направленной подъ угломъ въ 56° съ горизонтомъ, въ то же время одна изъ перетянутыхъ вѣтвей поднялась на 12°. Такимъ образомъ изгибъ кверху свободной вѣтви совершался такъ же, какъ и при удаленіи верхушки.

Аналогичные опыты впослѣдствіи были сдѣланы Göbel'емъ[2]): онъ наблюдалъ, что если надломить верхушечный побѣгъ такъ, чтобы сообщеніе его со стволомъ не было совершенно уничтожено, то, хотя онъ впослѣдствіи и образуетъ геотропическій изгибъ вверхъ, тѣмъ не менѣе одна (или нѣсколько) изъ боковыхъ вѣтвей тоже изгибается кверху и занимаетъ положеніе вершины. Но иногда и безъ всякаго поврежденія конца главной оси образуются побочныя вершины. Такъ, напр., Robert Hartig описываетъ 50-лѣтнее дерево (Picea excelsa)[3]), за 30 лѣтъ передъ тѣмъ поваленное бурей, у котораго стволъ на концѣ изогнулся кверху и принялъ вертикальное направленіе, но боковыя вѣтви также дали изгибы и, кромѣ того, изъ спящихъ почекъ образовалось шесть побочныхъ вершинъ, развившихся впослѣдствіи въ цѣлыя деревья.

Случается даже, что, повидимому, совершенно произвольно, у деревьевъ, растущихъ въ вертикальномъ положеніи, образуются побочныя вершины изъ почекъ боковыхъ вѣтвей. Объ этомъ упоминалъ еще Kunze[4]), ссылаясь на свѣдѣнія, сообщенныя ему Göppert'омъ, который встрѣчалъ деревья (Pinus Abies)[5]), имѣвшія 5—7 такихъ вершинъ, причемъ главная ось не была угнетена ими. Göbel, приводя безъ всякихъ оговорокъ указаніе Hartig'a, почему то только относительно даннаго случая высказываетъ такое мнѣніе: «Vermutlich war aber in diesem Falle nur von dem unterdrückten Hauptgipfel nichts mehr zu sehen» (l. c., p. 79, прим.), что конечно, очень возможно. Однако и Дарвинъ, какъ выше было упомянуто (стр. 148), замѣтилъ, что у ели боковыя вѣтви иногда изгибаются кверху, превращаясь въ ортотропные побѣги, несмотря на то, что вершина остается неповрежденной (и именно, когда деревья бываютъ нѣсколько болѣзненными).

---

1) Darwin, Ch. and Fr. The Power of Movement in Plants. London 1880, p. 187. См. прим. на стр. 148.

2) Göbel, K. Allgemeine Regenerationsprobleme. Flora. Bd. 95, p. 394. 1905. Также: Einleitung in d. exper. Morph. d. Pfl. 1908, p. 72.

3) Hartig, Robert. Holzuntersuchungen. Berlin 1901, p. 97.

4) Kunze, G. Einige Fälle von Umwandlungen der Nebenaxen in Hauptaxen bei d. Abietineen. Flora. Bd. 34 (N.R. 9), p. 144. 1851.

5) Pinus Abies L. — синонимъ Picea excelsa Lk. (Beissner, l. c., p. 351).

5. Попытки теоретическаго объясненія процессовъ, происходящихъ при замѣнѣ главной оси боковою[1]).

Въ явленіяхъ замѣны утраченной вершины боковымъ побѣгомъ особенно ярко проявляется существованіе нарушаемой здѣсь связи между отдѣльными частями растительнаго организма, связи, которая при нормальныхъ условіяхъ выражается въ соотношеніи ихъ развитія. Общій обликъ растенія, присущая ему пропорціональность, быть можетъ, главнымъ образомъ зависитъ отъ того, что существованіе и развитіе одного органа опредѣляетъ, въ связи съ внѣшними условіями, послѣдовательность развитія, размѣры и сформированіе позже возникающихъ частей. При изслѣдованіи этихъ соотношеній невольно возникаетъ мысль о какомъ-то особенномъ вліяніи, исходящемъ отъ каждой части организма и распространяющемся на всѣ остальныя. Уже давно старались составить представленіе о *матеріальной основѣ* этого вліянія, и такимъ образомъ создалось предположеніе, что развитіе того или другого органа обусловливается наличностью извѣстнаго рода веществъ. Эта идея о матеріальной основѣ вліяній, обусловливающихъ соотношенія въ размѣрахъ и формѣ органовъ, развивалась преемственно, исходя, повидимому, изъ самыхъ раннихъ представленій о процессахъ питанія растительнаго организма.

Гипотеза Sachs'а, которая предполагаетъ существованіе спеціальныхъ образовательныхъ веществъ для каждаго органа, даже для каждаго отдѣльнаго форменнаго образованія, является въ сущности развитіемъ представленій Duhamel'я, сложившихся, повидимому, въ связи съ его взглядами на процессы питанія, не отличавшимися существенно отъ тѣхъ, которые господствовали еще въ самомъ началѣ 18-го столѣтія. За 50 лѣтъ до появленія труда Duhamel'я это воззрѣніе было формулировано De la Hire'омъ[2]) въ слѣдующихъ выраженіяхъ: «dans les Plantes la racine tire un suc plus grossier et plus pesant, et la tige au contraire et les branches un suc plus fin et plus volatil, et en effet la racine passe chez tous les Physiciens pour l'Estomac de la Plante, où les sucs terrestres se digèrent et se subtilisent au point de pouvoir ensuite s'élever jusqu'aux extremités des branches»[3]).

Duhamel[4]), хотя и отвергалъ существованіе у растеній органа, подобнаго желудку (p. 189), но также признавалъ, что почвенный растворъ, извлекаемый корнями, перерабатывается въ растеніи въ питательные соки двоякаго рода, которые затѣмъ распредѣляются

---

1) Обзоръ относящихся сюда литературныхъ данныхъ имѣется въ статьѣ Палладина «Работа ферментовъ въ живыхъ и убитыхъ растеніяхъ» (Дневникъ XII Съѣзда русск. ест. и вр. 1909, № 4); но все же я считаю не лишнимъ разсмотрѣть ихъ здѣсь нѣсколько подробнѣе.

2) De la Hire. Explication physique de la direction verticale et naturelle des tiges des plantes et des branches des arbres, et de leurs racines. Mém. de l'Acad. des Sc. de Paris. 1708. 231. «Histoire», p. 67. (Изд. 1709).

3) «болѣе тонкій и летучій сокъ» De la Hire представлялъ себѣ въ видѣ паровъ, которые поднимаются внутри стебля потому, что они легче воздуха; этотъ восходящій токъ паровъ и придаетъ вертикальное направленіе вѣтвямъ, которыя изъ нихъ образуются или развиваясь увеличиваются на ихъ счетъ.

4) Duhamel du Monceau. La Physique des Arbres. Paris. 1758. II partie,

частью въ корняхъ, частью въ стебляхъ, при чемъ соки, служащіе для питанія стебля (почекъ) и корня, признаются по существу различными между собой (р. 127).

Такимъ образомъ Duhamel полагалъ, что существуютъ спеціальныя образовательныя вещества, обусловливающія развитіе стеблей (почекъ) или корней. Путемъ разнообразныхъ опытовъ онъ старался выяснить зависимость образованія тѣхъ или другихъ органовъ отъ внѣшнихъ условій и отъ передвиженія образовательныхъ веществъ. На основаніи этихъ опытовъ онъ составилъ себѣ стройное представленіе о причинахъ, отъ которыхъ зависитъ образованіе у отводковъ въ различныхъ случаяхъ опредѣленнаго рода органовъ. Его заключенія сводятся къ слѣдующему. Зачатки, способные произвести корни и почки, имѣются во всѣхъ частяхъ коры, но какіе изъ нихъ разовьются при благопріятныхъ внѣшнихъ условіяхъ, это зависитъ отъ того, какого рода соки они будутъ получать. Въ растеніи есть восходящій и нисходящій токъ соковъ. Вещества, служащія для образованія корня, движутся нисходящимъ токомъ, тѣ же, которыя идутъ на построеніе вѣтвей, содержатся въ восходящемъ токѣ (р. 121, 123). Поэтому «l'ordre commun et naturel exige que les racines soient au dessous des branches, quoique plantes sarmenteuses et rampantes puissent avoir leurs racines plus élevées que leurs tiges et leurs branches» (р. 124). Что касается роли этихъ веществъ въ развитіи стебля и корня, то, повидимому, Duhamel полагалъ, что они просто представляютъ собою весь пластическій матеріалъ, различный для того и другого рода органовъ.

Sachs развилъ мысль о значеніи особыхъ веществъ въ образованіи различныхъ органовъ[1]). По существу исходя изъ воззрѣній, формулированныхъ Duhamel'емъ, онъ, на основаніи различныхъ наблюденій, считалъ необходимымъ признать, что существуютъ спеціальныя образовательныя вещества не только для корня и стебля, но и для каждаго органа въ растеніи (р. 455), и для каждой его части.

Роль этихъ веществъ не исчерпывается тѣмъ, что они служатъ матеріаломъ для построенія тѣхъ или другихъ органовъ: ихъ свойства являются причиной возникновенія опредѣленныхъ формъ. Органическія формы, совершенно такъ же, какъ кристаллы и другія образованія въ природѣ, возникаютъ вслѣдствіе дѣятельности силъ, которыя *непосредственно зависятъ отъ свойствъ соотвѣтствующаго вещества* (р. 689, курсивъ мой).

Такъ, находящіяся въ отрѣзанной части растенія образовательныя вещества корней и почекъ стремятся при благопріятныхъ условіяхъ принять свойственную имъ форму, подобно тому, какъ растворенныя соли при соотвѣтствующихъ условіяхъ принимаютъ свойственныя имъ кристаллическія формы[2]). Образовательныя вещества не являются исключительнымъ матеріаломъ для построенія даннаго органа: очень малыя количества ихъ, находясь въ смѣси съ другими веществами, общими для многихъ органовъ, могутъ припу-

1) Sachs, J. Stoff und Form d. Pflanzenorgane. Arb. d. Bot. Inst. in Würzburg. Bd. II, p. 452, 689. 1882.

2) «Wir kommen weiter mit der Annahme, dass, wenn in einem abgeschnittenen Pflanzenstück (was ja nicht immer der Fall zu sein braucht) wurzelbidende und knospenbildende Substanzen vorhanden sind, dieselben dahin streben, unter günstigen Bedingungen die ihnen entsprechende Gestalt, ähnlich wie gelöste Salze bei entsprechenden Bedingungen die ihnen eigenthümlichen Krystallformen gewinnen» (l. c., p. 470).

дить ихъ застыть въ различныя органическія формы («in verschiedenen organischen Formen zu erstarren», p. 457).

Роль образовательнаго вещества при развитіи, напр., цвѣтовъ и плодовъ могутъ играть фосфаты (p. 457). Однако, какъ правило Sachs принимаетъ, что особенно важными для созиданія формъ являются не тѣ наиболѣе изслѣдованныя свойства вещества, о которыхъ можно составить представленіе путемъ химическаго анализа, но такія, которыя аналогичны свойствамъ, опредѣляющимъ различія оптическихъ изомеровъ между собою (p. 457).

Значеніе предполагаемыхъ веществъ не ограничивается ихъ участіемъ въ созиданіи формъ: они несутъ съ собою, кромѣ того, опредѣленныя физіологическія свойства, они являются причиной различнаго отношенія къ внѣшнимъ вліяніямъ, причиной, напр., того, что органы, повидимому, однородные («von anscheinend gleicher materieller Beschaffenheit») могутъ быть положительно или отрицательно геотропичными или геліотропичными, или различно относиться къ прикосновенію и давленію (p. 456—457).

Однако, Саксъ въ своихъ воззрѣніяхъ оказался не вполнѣ послѣдовательнымъ. Приведенная, слишкомъ прямолинейная характеристика образовательныхъ веществъ во второй его статьѣ (l. c., p. 717) смягчается (вѣрнѣе сказать, совершенно перестраивается) сближеніемъ ихъ роли съ дѣятельностью ферментовъ. Такимъ образомъ этимъ веществамъ придается совершенно иное значеніе, чѣмъ раньше: никто, конечно, не можетъ себѣ представить ферментовъ, которые сами по себѣ слагались бы и увлекали вмѣстѣ съ собою другія вещества въ формы извѣстнаго морфологическаго характера. Поэтому участіе ихъ въ построеніи органовъ должно выражаться тѣмъ, что они вызываютъ или ускоряютъ, или же наоборотъ замедляютъ процессы, результатомъ которыхъ является возникновеніе опредѣленныхъ формъ.

Многочисленными примѣрами, преимущественно изъ области тератологіи, а также нѣкоторыми опытами, Sachs старается доказать существованіе образовательныхъ веществъ и установить нѣкоторую зависимость перемѣщенія ихъ въ тѣ или другія части растительнаго организма отъ вліянія внѣшнихъ условій, въ особенности отъ дѣйствія силы тяжести, не опредѣляя ближе, на какихъ свойствахъ организма или самихъ веществъ можетъ основываться эта зависимость.

Что касается сущности гипотезы, то путемъ опыта можно только установить, имѣются ли спеціальныя вещества, необходимыя для построенія того или другого органа, но совершенно внѣ области экспериментальнаго изслѣдованія лежитъ вопросъ о существованіи такихъ веществъ, которыя сами по себѣ стремятся воплотиться въ опредѣленную органическую форму: конечно, и Sachs не представлялъ себѣ, чтобы это свойство могло обнаружиться внѣ организма, а въ условіяхъ взаимодѣйствія съ имѣющимися живыми частями его, существованіе такихъ веществъ нельзя ни доказать, ни опровергнуть.

Въ новѣйшее время разсматриваемая гипотеза вступила въ новую фазу. Возможность существованія особыхъ веществъ, которыми такъ или иначе регулируются образовательные

процессы, вновь обсуждается и привлекаетъ къ себѣ вниманіе изслѣдователей, но роль этихъ веществъ теперь уже рисуется въ иномъ видѣ, чѣмъ прежде, хотя далеко еще недостаточно опредѣленно. Предположенія о характерѣ зависимости образовательныхъ процессовъ отъ спеціальныхъ веществъ складываются въ связи съ новыми представленіями о такомъ взаимодѣйствіи частей организма, которое по существу однозначно съ рефлекторными актами, но можетъ совершаться и безъ посредства нервной системы. Несомнѣнно, что во множествѣ случаевъ обнаруживается подобнаго рода воздѣйствіе со стороны, какъ внутреннихъ, такъ и внѣшнихъ раздражителей. Massart[1]), давая обзоръ и попытку классификаціи относящихся сюда явленій, находитъ возможнымъ утверждать, что нервные рефлексы даже у высшихъ животныхъ представляютъ исключеніе: нервная система увѣдомляетъ организмъ только о болѣе грубыхъ (brutales) измѣненіяхъ окружающей среды (каковы свѣтъ, звукъ, механическія воздѣйствія), она завѣдуетъ въ немъ только болѣе грубыми актами (сокращеніями мышцъ, отдѣлительной дѣятельностью железъ и т. п.), «tout ce qui est délicat» въ организмѣ происходитъ помимо ея участія.

Къ числу этихъ утонченныхъ отношеній принадлежатъ и тѣ вліянія, которыми регулируются фазы развитія и взаимное положеніе органовъ (p. 644), сюда же, слѣдовательно, относится и вліяніе верхушечной почки ствола, препятствующее развитію нѣкоторыхъ побѣговъ.

Обмѣнъ вліяній между отдѣльными частями организма помимо нервной системы совершается, по новѣйшимъ воззрѣніямъ, при посредствѣ особыхъ веществъ, которыя являются «химическими посланниками», носителями опредѣленныхъ раздраженій. Нервная система, гдѣ она есть, служитъ для спѣшнаго сообщенія органовъ между собою, во всѣхъ же случаяхъ длительнаго воздѣйствія (и у тѣхъ организмовъ, которые лишены нервной системы), ея дѣятельность замѣняется передачей этихъ продуктовъ «внутренней секреціи» отъ одной части организма къ другой.

Участіе подобныхъ «sécrétions internes» во взаимодѣйствіи частей растенія между собою старался доказать Errera[2]), преимущественно въ примѣненіи къ случаямъ замѣны утраченной вершины боковою вѣтвью. Онъ отвергаетъ возможность объясненія этихъ явленій различными условіями питанія, такъ какъ путемъ опытовъ, произведенныхъ имъ совмѣстно съ Massart'омъ, было установлено, что у Araucaria excelsa кольцеваніе вершины также вызываетъ развитіе замѣняющихъ побѣговъ, какъ и устраненіе ея. Недостаточно также и одного допущенія, что имѣются «геотропическія» вещества двоякаго рода: одни «катагеотропическія», спускающіяся по корѣ къ корнямъ и обусловливающія ихъ положительный геотропизмъ, и другія — «анагеотропическія», восходящія по корѣ къ вершинѣ, отъ которыхъ зависитъ отрицательный геотропизмъ. По теоріи Sachs'a, образовательныя вещества (несущія съ собою и опредѣленныя физіологическія свойства, какъ выше было упомянуто)

1) Massart, J. Essai de classification de réflexes non nerveux. Ann. de l'Inst. Pasteur. T. 15, p. 635. 1901.

2) Errera, L. Conflits de préséance et excitations inhibitoires chez les végétaux. Recueil de l'Inst. Bot. Léo Errera. T. VI, p. 125 1906.

вырабатываются листьями, но въ такомъ случаѣ непонятно, почему листья вѣтвей только послѣ устраненія вершины предоставляютъ въ ихъ распоряженіе свои анагеотропическія вещества: для объясненія этого слѣдуетъ предположить вмѣшательство вліянія вершины, которое *препятствуетъ* имъ воспользоваться геотропическими веществами. Слѣдуетъ признать, что отъ вершины исходятъ къ боковымъ вѣтвямъ (которыя сами по себѣ, какъ и она, отрицательно геотропичны) «угнетающія раздраженія», препятствующія имъ направляться вверхъ (Picea) или развиваться (Araucaria)[1]). Что касается природы этихъ раздраженій, способа ихъ передачи, то Errera полагаетъ, что «L'hypothèse la plus plausible paraît être d'attribuer ces excitations à des «sécrétions internes» émanées des différentes parties et qui iraient porter leur action dans l'organisme tout entier» (p. 138).

Въ пользу этого воззрѣнія до извѣстной степени могутъ быть истолкованы чрезвычайно любопытныя наблюденія Strassburger'a[2]), которыя показываютъ, что вліяніе вершины передается также и на привитыя вѣтви другого растенія. Боковыя вѣтви Picea pungens Engelm., привитыя на Picea excelsa Lk., послѣ удаленія вершины подвоя изгибались кверху, принимали вертикальное направленіе и развивали правильныя мутовки вѣтвей, словомъ, замѣняли вершину. На это требовалось приблизительно три года. То же самое наблюдалось и у Abies nobilis, привитой на Abies pectinata DC., но какъ вообще у пихтъ (по указанію Strassburger'a) замѣна идетъ трудно, такъ и здѣсь только часть служившихъ для опыта экземпляровъ дала правильно развитыя вершины. При этомъ нерѣдко случалось, что уже образовавшаяся «приблизительно правильная» вершина, имѣвшая боковыя вѣтви, расположенныя мутовкой, снова принимала видъ плагіотропнаго побѣга («weiterhin wieder zweiseitig wurde»). Но особенно замѣчательно то, что вообще привитыя боковыя вѣтви получали способность измѣнять свое направленіе послѣ устраненія вершины только въ томъ случаѣ, если возникали плазматическія соединенія между клѣтками черенка и ствола, служившаго подвоемъ[3]).

---

1) «Selon nous, *il y a lieu d'admettre que le sommet envoie vers les rameaux latéraux (anagéotropiques comme lui), des excitations inhibitoires*, de nature catalysatrice si l'on veut, *qui les empêchent soit de se développer* (Araucaria), *soit de se redresser* (Picea)», l. c., p. 132—133 (курсивъ автора).

2) Strassburger, E. Ueber Plasmaverbindungen pflanzlicher Zellen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 36, p. 585—589. 1901.

3) Аналогичные опыты надъ корнями (свеклы) были сдѣланы Vöchting'омъ (Ueber Transplantation am Pflanzenkörper. 4°. Tübingen. 1892, p. 34). У свеклы такой расы, которая отличается сильнымъ ростомъ корней въ длину, конецъ главнаго корня въ томъ мѣстѣ, гдѣ онъ имѣлъ 5 mm. въ діаметрѣ,—отрѣзывался, и затѣмъ, въ одномъ случаѣ—къ срѣзу, а въ другомъ—сбоку на нѣкоторомъ разстояніи отъ него, прививался боковой корень отъ другого экземпляра той же расы. Привитый къ срѣзу боковой корень совершенно срастался съ главнымъ, и къ концу періода вегетаціи они представляли одно тѣло, вполнѣ подобное нормальному корню. Тотъ боковой корень, который былъ привитъ сбоку (очень наклонно), сильно развился и росъ почти отвѣсно, совершенно также, какъ главный корень, когда онъ былъ такимъ же образомъ (въ другомъ опытѣ) привитъ на мѣсто боковаго. На приложенномъ рисункѣ (табл. I, 3) видно, что конецъ привитаго бокового корня былъ отломленъ или погибъ по какой-нибудь другой причинѣ и отъ этого мѣста выросли два боковые корня второго порядка, которые направлялись почти отвѣсно. Была ли способна къ изгибу часть привитаго бокового корня, остававшаяся цѣлой во время прививки, и каковы были геотропическія свойства боковыхъ корней,—Vöchting не указываетъ. Поэтому совершенно нельзя рѣшить, происходило ли здѣсь превращеніе геотропизма.

Данныя опытовъ Strassburger'а показываютъ такимъ образомъ, что для явленій замѣны необходимо существованіе путей, которыми бы могли сообщаться главная и боковая ось, но, конечно, относительно способа взаимодѣйствія въ настоящее время на основаніи ихъ почти ничего нельзя заключить.

Свѣдѣнія о тѣхъ веществахъ, при посредствѣ которыхъ устанавливаются нормальныя соотношенія нѣкоторыхъ функцій въ организмѣ, собраны, преимущественно изъ области физіологіи животныхъ, Bayliss'омъ и Starling'омъ[1]). Результаты многочисленныхъ и разнообразныхъ изслѣдованій дѣлаютъ весьма вѣроятнымъ существованіе подобныхъ веществъ. Starling предложилъ для нихъ названіе *гормоновъ*[2]).

Въ дѣятельности дыхательныхъ, пищеварительныхъ и половыхъ органовъ, а также и въ процессахъ развитія во многихъ случаяхъ удалось установить участіе этихъ особыхъ «внутреннихъ отдѣленій». Лучшимъ примѣромъ подобныхъ «химическихъ рефлексовъ» въ животномъ организмѣ могло бы служить соотношеніе развитія плода и сопровождающихъ его измѣненій молочныхъ железъ. Въ данномъ случаѣ, связь при посредствѣ особаго гормона между процессами, совершающимися въ различныхъ частяхъ организма, доказывается убѣдительно соотвѣтствующими опытами, но входить въ разсмотрѣніе подробностей ихъ здѣсь было бы неумѣстно.

Въ настоящее время уже выясняется и химическая природа нѣкоторыхъ гормоновъ. Bayliss и Starling даже находятъ возможнымъ дать имъ общую химическую характеристику, относя ихъ къ опредѣленной группѣ болѣе или менѣе простыхъ и прочныхъ соединеній (p. 693—695). Къ гормонамъ должно причислить, какъ это дѣлаютъ Bayliss и Starling, также и тѣ гипотетическія вещества, которыя служатъ для урегулированія соотношеній въ растительномъ организмѣ.

Göbel[3]), упоминая о предположеніи Errera относительно угнетающаго воздѣйствія продуктовъ внутренней секреціи, говоритъ, что теоретически это предположеніе не встрѣчаетъ препятствій, но что также въ настоящее время неизвѣстно никакихъ фактовъ, на которые оно могло бы опереться. Съ своей стороны Göbel полагаетъ, что соотношенія вершины и остальныхъ частей растенія можно объяснить распредѣленіемъ питательныхъ веществъ[4]).

Пластическій матеріалъ изъ боковыхъ вѣтвей, строеніе которыхъ отвѣчаетъ главнымъ образомъ ихъ назначенію, какъ органовъ ассимиляціи, переходитъ въ главную ось, гдѣ и примѣняется съ одной стороны для вторичнаго роста въ толщину, съ другой — для питанія эмбріональной ткани. Эта ткань живетъ подобно паразиту на счетъ ассимилятовъ дерева. Какъ созрѣвающее сѣмя, конусъ наростанія — выражаясь образно — имѣетъ при-

---

1) Bayliss, W. M. u. Starling, E. H. Die chemische Koordination der Functionen des Körpers. Ergebnisse d. Physiologie. Bd. 5, p. 664. 1906.

2) Отъ ὁρμᾶν = возбуждать (p. 668).

3) Göbel, K. Einleitung in die experim. Morphol. d. Pflanzen. Leipzig u. Berlin. 1908, p. 74.

4) Такого взгляда одно время держался и Sachs, но впослѣдствіи самъ призналъ его ошибочнымъ (Ueber orthotrope u. plagiotrope Pflanzentheile. Arb. d. Bot. Inst. in Würzburg. Bd. 2, p. 280—281. 1882).

тягательную силу по отношенію къ пластическимъ веществамъ: такъ, если отдѣлить вѣтвь отъ растенія, то нижніе листья желтѣютъ и отмираютъ гораздо скорѣе, чѣмъ при нормальныхъ условіяхъ: вершина отнимаетъ у нижележащихъ частей строительный матеріалъ, недостатокъ котораго и вызываетъ отмираніе листьевъ. Однако, высказывая приведенныя соображенія, Göbel находитъ нужнымъ оговориться, что отношенія между главной и боковыми осями, по его гипотезѣ, не должно быть непосредственно связано съ различіями въ условіяхъ питанія; здѣсь, быть можетъ, дѣло идетъ о процессахъ обмѣна веществъ, которые «освобождаются» въ силу извѣстнаго раздраженія; можно представить себѣ, что эмбріональная ткань вершины способна производить вещества энзиматическаго характера, которыя притекающій сырой матеріалъ быстрѣе и совершеннѣе переводятъ въ необходимую для дальнѣйшей переработки форму, чѣмъ это происходитъ въ боковыхъ вѣтвяхъ. Съ этимъ дополненіемъ, гипотеза становится менѣе ясной и правдоподобной. Если же ограничиться существенными чертами, то она оказывается уже недостаточной, чтобы объединить имѣющіяся въ настоящее время наблюденія. Когда предполагается такая простая и опредѣленная причина въ извѣстномъ рядѣ явленій, какъ зависимость отъ болѣе или менѣе обильнаго питанія, то достаточно одного только случая, въ которомъ наличность даннаго условія не влечетъ за собой соотвѣтствующаго слѣдствія, чтобы гипотеза лишилась убѣдительности, а это и обнаруживается въ одномъ изъ примѣровъ, приводимыхъ самимъ же Göbel'емъ: «So steht in meinem Garten eine etwa 12 m. hohe, *kräftig* wachsende Fichte, an deren Basis drei bewurzelte Äste sich zu — *kümmerlich* wachsenden — Gipfeltrieben entwickelt haben» (p. 79, курсивъ мой). Укоренившіяся вѣтви превратились въ ортотропныя оси, несмотря на то, что питаніе ихъ, судя по чахлому росту, было скудно.

Что касается гипотезы гормоновъ, то едва ли можно согласиться съ мнѣніемъ Göbel'я о ея совершенной необоснованности, особенно если не ограничиваться областью физіологіи растеній. Правда, фактическія данныя изъ наблюденій надъ замѣной конца главной оси боковою иногда бываетъ трудно примирить съ нею, не прибѣгая къ новымъ предположеніямъ. Такъ, напр., непонятно, почему боковыя вѣтви, ранѣе неспособныя вырабатывать вещества, отъ которыхъ зависитъ угнетающее вліяніе вершины, послѣ устраненія ея — пріобрѣтаютъ эту способность. Если же допустить, что онѣ всегда производятъ эти вещества, которыя, однако, какъ бы нейтрализуются гормономъ главной оси, то непонятно, почему было недостаточно гормоновъ всѣхъ боковыхъ осей, чтобы преодолѣть вліяніе вершины, тогда какъ послѣ устраненія ея иногда одна только изъ боковыхъ вѣтвей оказывается въ состояніи подчинить себѣ всѣ остальныя. Можно было бы привести еще нѣсколько подобныхъ возраженій, но я не буду на нихъ останавливаться.

Теорія гормоновъ въ примѣненіи къ процессамъ замѣны главной оси боковою имѣетъ то преимущество, что она все же до извѣстной степени пластична; по мѣрѣ накопленія фактовъ она можетъ расширяться и видоизмѣняться. Въ сложномъ и трудномъ вопросѣ о причинахъ явленій регенераціи и замѣны недостающаго органа другимъ необходимо имѣть общія теоретическія представленія, хотя бы даже и мало правдоподобныя, которыя бы

давали возможность объединить разнообразныя, иногда противорѣчивыя данныя опытовъ и наблюденій. Гипотеза внутреннихъ секрецій—гормоновъ несомнѣнно можетъ принести пользу, такъ какъ въ данной области болѣе, чѣмъ гдѣ-либо, чувствуется недостатокъ планомѣрности въ изслѣдованіяхъ. Если же съ помощью ея удалось бы выяснить, въ чемъ состоитъ то взаимное вліяніе частей организма, отъ котораго зависятъ его морфологическія свойства, то вмѣстѣ съ тѣмъ, можно надѣяться, нѣсколько разъяснились бы и причины превращеній геотропизма.

3. Сопоставленіе полученныхъ результатовъ съ литературными данными и нѣкоторыя общія соображенія.

На основаніи приведеннаго обзора литературныхъ данныхъ можно заключить, что отношеніе къ силѣ тяжести даже совершенно однородныхъ, повидимому, органовъ чрезвычайно непостоянно. Главный стебель въ различныхъ случаяхъ можетъ расти въ любомъ направленіи: и вертикально, и наклонно, и горизонтально, и даже отвѣсно внизъ. Формы геотропизма, насколько онѣ опредѣляются положеніемъ покоя, разнообразны и измѣнчивы. Внѣшнія и внутреннія условія — вліяніе свѣта, температуры, свойствъ окружающей среды, соотношенія органовъ между собою — могутъ явиться причиною перехода одной формы геотропизма въ другую.

Однако, далеко не во всѣхъ случаяхъ причину перемѣны направленія того или другого органа, которое впослѣдствіи сохраняется въ силу новыхъ геотропическихъ свойствъ, можно видѣть въ измѣненіи формы геотропизма. Только въ явленіяхъ, принадлежащихъ къ первой изъ выше разсмотрѣнныхъ группъ мы имѣемъ дѣло, несомнѣнно, съ дѣйствительными превращеніями геотропизма, такъ какъ только относительно этихъ явленій можно съ увѣренностью утверждать, что въ нихъ одна и та же зона органа при различныхъ обстоятельствахъ обнаруживаетъ неодинаковое отношеніе къ направляющему воздѣйствію силы тяжести. Во всѣхъ же остальныхъ случаяхъ носителями вновь пріобрѣтаемыхъ геотропическихъ свойствъ или могутъ быть, или навѣрное являются новыя образованія, которымъ никогда раньше и не было свойственно иное отношеніе къ вліянію земного притяженія, чѣмъ то, которое данный органъ обнаруживаетъ со времени возникновенія ихъ.

Къ первой группѣ отнесены тѣ случаи, въ которыхъ наблюдается образованіе изгибовъ въ извѣстномъ соотношеніи съ направляющимъ воздѣйствіемъ, возникающихъ обыкновенно въ теченіе короткаго промежутка времени вслѣдствіе измѣненій въ окружающей средѣ, т. е. подъ вліяніемъ освѣщенія или затемнѣнія, повышенія или пониженія температуры и нѣкоторыхъ другихъ условій.

Зависимость этихъ изгибовъ отъ измѣненія геотропическихъ свойствъ опредѣленной зоны роста легко можетъ быть установлена сравненіемъ геотропическихъ реакцій, которыя производятся одинаковыми органами растенія, находящимися на одной и той же стадіи

развитія и, слѣдовательно, имѣющими, по всей вѣроятности, совершенно тождественное строеніе, но подвергнутыми вліянію упомянутыхъ различныхъ внѣшнихъ условій.

Явленія, составляющія вторую группу, весьма близки къ только что разсмотрѣннымъ, но признать въ нихъ дѣйствительныя превращенія геотропизма препятствуетъ то обстоятельство, что новыя свойства проявляются лишь во вновь развившихся частяхъ органа, которыя обнаруживаютъ только одну форму геотропизма, именно новую, тогда какъ прежняя — оказывается свойственной, повидимому, лишь нижележащей зонѣ, а такъ какъ строеніе стебля при этомъ завѣдомо измѣняется, то нельзя и отождествлять между собою различныя зоны, несмотря на то, что онѣ входятъ въ составъ одного и того же побѣга. Хотя вліяніе внѣшнихъ условій можетъ ускорить или замедлить появленіе новыхъ геотропическихъ свойствъ, но все же переходъ отъ одной формы геотропизма къ другой не совершается не только мгновенно, но даже и въ короткій промежутокъ времени: иногда для него требуется цѣлый мѣсяцъ. Въ теченіе нѣкотораго срока возвращеніе къ прежней формѣ геотропизма какъ будто при соотвѣтствующихъ обстоятельствахъ можетъ происходить быстро, и потому такія явленія приходится относить къ первой группѣ, но, вѣроятно, только временно, такъ какъ есть нѣкоторое основаніе полагать, что эта реакція прежняго типа производится не той частью органа, въ которой уже появились новыя свойства. Впрочемъ, фактическихъ данныхъ имѣется слишкомъ мало, и они не настолько опредѣленны, чтобы это можно было утверждать съ увѣренностью.

Если я отмѣчаю здѣсь существованіе нѣкоторой связи между геотропическими и морфологическими свойствами частей растенія, то вовсе не хочу этимъ сказать, вопреки общепринятому мнѣнію, что ортотропное или плагіотропное направленіе обусловливается внѣшними морфологическими признаками органа, а не наоборотъ, хотя и съ извѣстными ограниченіями[1]) (причемъ, однако, слѣдуетъ замѣтить, что въ выработкѣ дорзивентральнаго строенія главная роль приписывается вліянію свѣта)[2]), — я только имѣю въ виду обратить особенное вниманіе на то, что различныя формы геотропизма въ этихъ случаяхъ проявляются различными комплексами тканей и въ разное время, вслѣдствіе чего само собою возникаетъ предположеніе, что по мѣрѣ развитія органа во внутреннемъ строеніи его самостоятельно совершаются какія-то незамѣтныя измѣненія, которыя являются причиной иного, чѣмъ прежде, отношенія растущей зоны къ вліянію силы тяжести, т. е., слѣдовательно, представляютъ собою тѣ «измѣненія физіологической структуры», о которыхъ въ данномъ случаѣ говоритъ Oltmanns[3]), но вмѣстѣ съ тѣмъ обусловливаютъ также и появленіе извѣстныхъ морфологическихъ признаковъ.

Случаи образованія новаго побѣга (или органа), обладающаго иными геотропическими свойствами, чѣмъ тотъ, отъ котораго онъ произошелъ, составляющіе третью группу, — рѣзко отличаются отъ принадлежащихъ къ первымъ двумъ: здѣсь уже несомнѣнно отсут-

---

1) Cp. Göbel, K. Organographie der Pflanzen. Jena. 1898—1901, p. 184, 193.

2) Göbel, l. c., p. 56.

3) Oltmanns, Fr. Ueber positiven und negativen Heliotropismus. Flora. Bd. 83, p. 29. 1897.

ствуютъ превращенія геотропизма. Эти случаи часто наблюдаются при замѣнѣ устраненной вершины главной оси побѣгомъ низшаго порядка. Если на верхней поверхности плагіотропной вѣтви изъ спящей почки развивается замѣняющій ортотропный побѣгъ, то совершенно очевидно, что здѣсь не происходитъ превращенія геотропизма. Нѣкоторое сомнѣніе можетъ вызвать образованіе воздушныхъ побѣговъ отъ корневищъ, вѣтвящихся симподіально, но тѣ соображенія, которыя были приведены выше (на стр. 135 и 136), убѣждаютъ въ томъ, что вновь развивающаяся изъ конечной почки часть стебля имѣетъ только одну форму геотропизма.

Что же касается процессовъ, которые приводятъ къ замѣнѣ утраченной вершины боковою осью, то среди нихъ мы встрѣчаемъ явленія, принадлежащія ко всѣмъ тремъ перечисленнымъ группамъ. Но у древесныхъ растеній переходъ отъ одного направленія къ другому, тамъ, гдѣ онъ происходитъ, изслѣдованъ слишкомъ недостаточно, чтобы можно было судить, принимаютъ ли въ немъ участіе превращенія геотропизма, или хотя бы только о томъ, сопровождается ли онъ измѣненіемъ геотропическихъ свойствъ опредѣленной зоны органа не въ самой изгибающейся части, но въ тѣхъ (морфологически) вышележащихъ частяхъ, которыя въ силу изгиба ея оказываются направленными иначе, чѣмъ были до того.

Кромѣ того, нѣкоторыя изъ разсмотрѣнныхъ изслѣдованій приводятъ къ заключенію, что не во всякомъ образованіи изгиба подъ вліяніемъ силы тяжести можно видѣть проявленіе геотропическихъ свойствъ, хотя бы такимъ путемъ и достигалось опредѣленное направленіе побѣга относительно горизонта. Иногда (какъ, напр., это наблюдается, повидимому, у цвѣтоножекъ Anemone nemorosa) переходъ отъ одного направленія къ другому совершается посредствомъ настическаго изгиба, при чемъ вышележащая часть рано или поздно достигаетъ положенія равновѣсія, но во время этого перехода геотропическій аппаратъ ея бездѣйствуетъ, хотя промежуточныя направленія, конечно, не соотвѣтствуютъ для него положенію покоя, между тѣмъ какъ при соотвѣтствующей постановкѣ опыта можно обнаружить, что геотропическія свойства и на это время не утрачиваются.

По существу къ разсмотрѣннымъ, вѣроятно, близки и тѣ изгибы, которые возникаютъ въ одревеснѣвшихъ, иногда многолѣтнихъ, частяхъ вѣтвей хвойныхъ послѣ утраты вершины, а также и тѣ еще болѣе удивительные случаи искривленія старыхъ стволовъ, которые описываетъ Errera [1]). Онъ даетъ фотографическій снимокъ двухъ большихъ буковыхъ деревьевъ, которыя вслѣдствіе обнаженія корней (происшедшаго отъ размыванія почвы протекавшимъ вблизи ручьемъ) постепенно склонялись въ одну сторону и соотвѣтственно этому *при основаніи* изгибались кверху.

Подобныя измѣненія формы одревеснѣвшихъ частей причисляютъ къ проявленіямъ геотропизма. Но врядъ ли было бы правильно отождествлять ихъ съ тѣми явленіями, которыя происходятъ въ корняхъ или стебляхъ проростковъ, выведенныхъ изъ вертикальнаго направленія, такъ какъ слишкомъ различенъ механизмъ образованія изгибовъ въ томъ

1) Errera, L. Conflits de préséance et excitations inhibitoires chez les végétaux. Recueil de l'Institut Bot. L. Errera. T. VI, p. 130. 1906.

и другомъ случаѣ. Одревеснѣвшія вѣтви и стволы изгибаются на большомъ протяженіи и весьма медленно (иногда въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ), и притомъ это происходитъ въ той части, гдѣ ростъ въ длину давно уже окончился. Ближайшей причиной образованія изгиба является, повидимому, измѣненная дѣятельность камбія, т. е. особенности въ заложеніи тканей.

На основаніи наблюденій Jost'a[1]) представляется весьма вѣроятнымъ, что здѣсь въ камбіальномъ слоѣ обращенной кверху половины ствола или вѣтви клѣтки обнаруживаютъ «скользящій ростъ», т. е. концы ихъ смѣщаются и врастаютъ одни между другими, скользя по радіальнымъ стѣнкамъ. Очевидно, что въ дальнѣйшемъ равномѣрное развитіе происшедшихъ изъ нихъ элементовъ должно привести къ тому, что нижняя половина сдѣлается длиннѣе верхней, вслѣдствіе чего и образуется изгибъ.

Явленіе это вообще слишкомъ мало изслѣдовано, но никакъ нельзя ожидать, чтобы здѣсь оказались приложимыми тѣ законности, которыя установлены для геотропическаго процесса; слѣдовательно, и съ этой точки зрѣнія его нельзя причислять къ явленіямъ геотропизма, несмотря на то, что въ немъ и обнаруживается направляющее воздѣйствіе силы тяжести.

Итакъ, въ конечномъ итогѣ мы видимъ, что геотропическія свойства даже совершенно однородныхъ органовъ представляются разнообразными и измѣнчивыми, но только при томъ условіи, если относить ихъ къ данному органу въ цѣломъ. Весьма часто различно реагируетъ стебель у разныхъ растеній или отдѣльные побѣги, входящіе въ составъ его, какъ при симподіальномъ, такъ и при моноподіальномъ вѣтвленіи, или даже отдѣльныя части того же самаго побѣга, — но далеко не часты случаи, когда та же самая зона роста при измѣненіи условій обнаруживаетъ иное отношеніе къ направляющему воздѣйствію силы тяжести, чѣмъ прежде. Другими словами, извѣстно много случаевъ превращенія ортотропныхъ стеблей или частей ихъ въ плагіотропные и наоборотъ, но болѣе рѣдки превращенія одной формы геотропизма въ другую. Однако, такіе случаи все же несомнѣнно существуютъ. Къ числу ихъ слѣдуетъ отнести и тѣ измѣненія геотропическихъ свойствъ, которыя обнаружились въ моихъ опытахъ.

До сихъ поръ были извѣстны почти исключительно такіе случаи, въ которыхъ исходной формой являлся трансверсальный геотропизмъ. Но тѣ части растеній, которымъ онъ свойственъ въ естественныхъ условіяхъ, въ отношеніи къ вліянію силы тяжести обнаруживаютъ нѣкоторыя особенности, существенно отличающія ихъ отъ параллелотропныхъ органовъ. По указанію Czapek'a, у боковыхъ корней зона роста мала и лишь въ теченіе короткаго времени сохраняетъ способность къ изгибу, между тѣмъ какъ реакціи на внѣшнія воздѣйствія наступаютъ медленно. Эти свойства, по его мнѣнію, и были причиной того, что ему не удалось получить опредѣленныхъ (unzweideutigen) результатовъ въ опытахъ надъ геотропическимъ послѣдѣйствіемъ при различныхъ углахъ отклоненія. Изгибы послѣдѣй-

1) Jost, L. Ueber einige Eigenthümlichkeiten des Cambiums der Bäume. Bot. Ztg. Bd. 59. Abth. I, p. 1. 1901.

ствія были слишкомъ малы и слишкомъ варіировали, чтобы можно было придти къ какимъ-либо положительнымъ выводамъ [1]). Корневища также реагируютъ необычайно медленно. У Butomus umbellatus геотропическій изгибъ образуется лишь черезъ 10 дней, у Circaea — черезъ 8—10 дней и только у Adoxa черезъ 1½—2 дня [2]).

Указанія Czapek'а относительно времени реакціи не совпадаютъ съ результатами, ранѣе полученными Stahl'емъ [3]), который наблюдалъ болѣе скорое образованіе изгибовъ, но оба автора слишкомъ кратко описываютъ свои наблюденія, чтобы можно было судить о причинахъ разногласія.

У горизонтально растущихъ наземныхъ побѣговъ превращенія геотропизма, какъ выше было упомянуто, не вполнѣ достовѣрны, при томъ же склонность къ образованію настическихъ искривленій, обнаруживающаяся при различныхъ обстоятельствахъ, чрезвычайно затрудняетъ изслѣдованіе способовъ перехода отъ одного направленія къ другому.

Измѣненіе геотропизма подъ вліяніемъ этилена и другихъ газовъ представляетъ особенный интересъ потому, что здѣсь исходной формой является отрицательный геотропизмъ и превращеніе относится къ типичнымъ параллелотропнымъ органамъ, хотя крайне неблагопріятнымъ моментомъ является токсическое вліяніе этилена и ацетилена и неустойчивость геотропическихъ свойствъ въ связи съ измѣненіями концентраціи дѣйствующихъ газовъ и состояніемъ объекта, въ значительной мѣрѣ препятствующія полученію точныхъ результатовъ.

Во всѣхъ случаяхъ, когда происходитъ дѣйствительное превращеніе геотропизма, оно совершается весьма быстро, слѣдовало бы сказать, мгновенно, потому что новое положеніе равновѣсія при наступленіи условій, отъ которыхъ зависитъ это превращеніе, достигается обыкновенно въ такой же срокъ или даже меньшій, чѣмъ при геотропической реакціи въ исходномъ состояніи. Если принять во вниманіе задержку роста вслѣдствіе вреднаго дѣйствія этилена, то надо признать, что и подъ вліяніемъ этого газа форма геотропизма такъ же быстро измѣняется, какъ и въ остальныхъ случаяхъ. Впрочемъ, иногда при благопріятномъ стеченіи обстоятельствъ удается наблюдать, что реакція наступаетъ почти въ такой же срокъ, какъ и при нормальныхъ условіяхъ.

Такимъ образомъ становится весьма вѣроятнымъ, что здѣсь обнаруживается способность того же самаго геотропическаго аппарата реагировать различно въ зависимости отъ условій, но отсюда было бы ошибочно заключать, что воздѣйствія, которыми обусловливается форма геотропизма, обращаются на процессы видимой реакціи. Въ случаяхъ локализаціи чувствительности несомнѣнно обнаруживается, что различія реакціи обусловли-

1) Czapek, Fr. Untersuchungen über Geotropismus. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 27, p. 299. 1895, хотя въ другой статьѣ Czapek находилъ возможнымъ дѣлать нѣкоторыя заключенія на основаніи подобныхъ опытовъ (Über die Richtungsursachen der Seitenwurzeln u. s. w. Sitzungsber. d. k. Ak. d. Wiss. in Wien. Bd. 104. Abt. I, p. 1215—1216. 1895).

2) Czapek, Fr. Über die Richtungsursachen u. s. w. p. 1231.

3) Stahl, E. Einfluss d. Lichtes auf d. Geotrop. einig. Pflanzenorgane. Ber. d. D.B.G. Bd. 2, 383. 1884.

ваются измѣненіями первой фазы геотропическаго процесса, происходящими въ воспринимающемъ аппаратѣ, какъ это показываютъ опыты Czapek'а надъ вліяніемъ свѣта на геотропизмъ боковыхъ корней (стр. 116).

Теорія геотропизма еще не выработана, современныя же гипотезы совершенно не объясняютъ, почему органы растеній стремятся принять то или иное направленіе соотвѣтственно свойственной имъ формѣ геотропизма и какія измѣненія происходятъ въ геотропическомъ аппаратѣ при переходѣ одной формы въ другую. Гдѣ дѣлались попытки дать объясненіе, тамъ оно въ сущности только замѣнялось терминомъ.

По мнѣнію Czapek'а [1]), то физическое воздѣйствіе силы тяжести, которое является освобождающимъ моментомъ для геотропическаго возбужденія, обращается на цѣлые комплексы клѣтокъ. Оно состоитъ во взаимномъ давленіи продольныхъ слоевъ ткани, параллельныхъ поверхности органа и представляющихъ собою, слѣдовательно, въ конусѣ наростанія систему вложенныхъ другъ въ друга куполовидно изогнутыхъ пластовъ. Однако при этомъ допускается, что и каждая клѣтка въ отдѣльности способна къ самостоятельному воспріятію (l. c., p. 233, 234). Если органъ выведенъ изъ вертикальнаго положенія, то въ верхней половинѣ его взаимное давленіе слоевъ по радіусу распредѣляется иначе, чѣмъ въ нижней. Это различіе и воспринимается параллелотропными органами, какъ раздраженіе. Для плагіотропныхъ же органовъ нѣкоторое опредѣленное различіе въ давленіи соотвѣтствуетъ положенію геотропическаго равновѣсія и не вызываетъ раздраженія. Чтобы объяснить это, говорится, что параллелотропные органы пріурочены къ одинаковому давленію въ продольныхъ половинахъ чувствительной зоны, плагіотропные же — къ извѣстному различію въ давленіи. Они находятся въ состояніи соотвѣтствующаго «настроенія», которое измѣняется при переходѣ одной формы геотропизма въ другую. Czapek говоритъ такъ: «Der Sachverhalt würde aber schon besser charakterisirt werden, wenn wir sagen, dass die radiär gebauten Hauptwurzeln, Sprosse, gestimmt sind auf identische Druckverhältnisse in beiden Längshälften der sensiblen Zone.... Die wagrecht und schräg geotropischen Organe hingegen würden wir als Pflanzentheile bezeichnen, welche auf einen specifischen Druckunterschied gestimmt sind» (l. c., p. 226). Въ чемъ именно состоитъ это настроеніе, остается совершенно неяснымъ.

Основываясь на сходствѣ анатомическаго строенія главныхъ и боковыхъ корней, Czapek полагалъ, что воспринимающій аппаратъ для всѣхъ формъ геотропизма имѣетъ одинаковое строеніе и что различіе реакцій обусловливается способомъ передачи раздраженія двигательному аппарату. Далѣе высказывается слѣдующее предположеніе, также весьма неопредѣленное. Геотропическій процессъ, по мнѣнію Czapek'а, аналогиченъ рефлекторному акту, форма же реакціи опредѣляется отношеніемъ къ воздѣйствію силы тяжести того гипотетическаго образованія, которое играетъ роль нервнаго центра: «Es spricht manches dafür, dass in allen diesen Fällen die Veränderung einsetzt in Uebertra-

1) Czapek, Fr. Weitere Beiträge u. s. w. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 32, p. 237. 1898.

gungsmechanismus zwischen sensibler und motorischer Sphäre, also in dem Theile des Reflexapparates, welcher als Reflexcentrum angesechen werden muss» (l. c., p. 294). «Настроеніе», слѣдовательно, зависитъ отъ состоянія этого центра [1]).

Въ возникающемъ различіи напряженій видитъ непосредственный результатъ воздѣйствія силы тяжести также и Linsbauer [2]), но уже ограничиваетъ его предѣлами клѣтки. Linsbauer не пытался создать гипотезу, приложимую ко всѣмъ вообще явленіямъ геотропизма, но только старался представить такую схему внутренняго строенія плазмы, которая давала бы возможность заключить, что вліяніе силы тяжести должно различно отзываться на немъ въ зависимости отъ положенія клѣтки относительно горизонта.

Судя по недостаточно ясному описанію автора, въ качествѣ такой схемы онъ представляетъ себѣ комплексъ многогранныхъ ячеекъ, расположенныхъ правильными рядами и образующихъ прямоугольную пластинку. Понятно, что напряженіе стѣнокъ ячеекъ, при соотвѣтствующей формѣ ихъ, будетъ различно, смотря по тому, которая изъ сторонъ прямоугольника будетъ направлена вертикально [3]). Linsbauer не прилагалъ этой схемы къ объясненію различія между параллелотропными и трансверсально геотропичными органами. Впрочемъ, на основаніи ея и нельзя придти къ какимъ-либо выводамъ въ этомъ направленіи. То же самое слѣдуетъ сказать и о гипотезѣ Tondera [4]), которая отличается отъ прочихъ тѣмъ, что въ ней явленія геотропизма разсматриваются не какъ результатъ раздраженія, а какъ послѣдствія прямого дѣйствія силы тяжести на растущую зону органа. Tondera полагаетъ, что при горизонтальномъ положеніи органа возникаетъ неравномѣрность гидростатическаго давленія въ верхней и нижней половинѣ его, происходитъ же это вслѣдствіе того, что вода по тяжести стекаетъ изъ верхнихъ рядовъ клѣтокъ въ нижніе. Результатомъ совмѣстнаго дѣйствія этого предполагаемаго тока воды съ тѣмъ, который образуется вслѣдствіе перехода ея изъ сосудистой системы въ окружающія ткани въ стеблѣ и наоборотъ изъ наружныхъ тканей въ сосуды — въ корнѣ, является то, что при горизонтальномъ положеніи въ стеблѣ гидростатическое давленіе имѣетъ бо́льшую величину въ нижней половинѣ, въ корнѣ же — въ верхней. Повышенное гидростатистическое давленіе, по мнѣнію автора, должно считать непосредственной причиной усиленнаго растяженія клѣ-

---

1) Я не буду здѣсь обсуждать степень вѣроятности, какъ этой гипотезы, такъ остальныхъ, замѣчу только, что, по моему мнѣнію, она совершенно опровергается тѣми возраженіями, которыя были сдѣланы Noll'емъ относительно того, можетъ ли положеніе покоя трансверсально геотропичныхъ органовъ опредѣляться различіемъ взаимнаго давленія продольныхъ рядовъ клѣтокъ въ верхней и нижней половинѣ (Noll, Fr. Ueber Geotropismus. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 34, p. 473. 1900).

2) Linsbauer, K. Üeber Wachstum und Geotropismus d. Aroideen-Luftwurzeln. Flora. Bd. 97, p. 296. 1907.

Idem. Über d. Geotropismus d. Aroideenluftwurzeln. Flora. Bd. 99, p. 177. 1908.

3) «Denken wir uns ein rechteckiges Netz, aus polyedrischen Maschen bestehend, so werden die Netzmaschen bei entsprechendem Gewichte des Netzes natürlich verschieden deformiert werden, je nachdem dasselbe an seiner Längs- oder an seiner Schmalseite aufgehängt wird. Ist das Gewicht nicht so gross, dass es zu einer sichtbaren Deformation des Netzes kommt, so werden doch die verschiedenen Seiten jeder Masche unter dem Einflusse der Schwerkraft, mithin in Abhängigkeit von der Lage zum Horizonte unter verschiedenen Spannungsverhältnissen stehen». Flora. Bd. 97, p. 296.

4) Tondera, F. Über die geotropischen Vorgänge in orthotropen Sprossen. Krakau. 1911.

точныхъ оболочекъ соотвѣтствующей стороны. Относительно величины гидростатическаго давленія въ нижней половинѣ стебля Tondera высказывается такъ: «Der hydrostatische Druck des Zellsaftes in den Zellen der unteren Hälfte eines horizontal liegenden Stengels ist zwar sehr gering, er entspricht nämlich dem Drucke einer Wassersäule deren Höhe dem Durchmesser des betreffenden Stengels gleich ist» (p. 16). Значеніе же долженствующей возникнуть при этихъ условіяхъ разницы въ гидростатическомъ давленіи между верхней и нижней половиной стебля опредѣляется слѣдующимъ образомъ: «Dieser Druckunterschied übt einen Einfluss auf die Gestalt der unteren Zellen aus. Die Parenchymzellen der unteren Hälfte dehnen sich aus und werden bald grösser als in der oberen Stengelhälfte» [1]).

Статолитная гипотеза, въ примѣненіи къ растительнымъ организмамъ, не имѣющимъ нервныхъ центровъ, должна предполагать различное строеніе воспринимающаго аппарата для каждой формы геотропизма. Noll [2]), который подробно разработалъ теоретическія основанія статолитной гипотезы и предсказалъ нѣкоторыя особенности въ проявленіяхъ различныхъ формъ геотропизма, наблюдавшіяся впослѣдствіи на опытѣ, признавалъ существованіе такихъ различій. Онъ полагалъ, что въ постѣнномъ плазматическомъ слоѣ статоциста имѣются ограниченные участки, чувствительные къ давленію статолита и соотвѣтствующіе по формѣ полямъ раздражительности (см. выше, стр. 36 и 37).

Согласно этому воззрѣнію, слѣдовательно, качественныя измѣненія геотропизма зависятъ отъ того, что чувствительность къ давленію переходитъ отъ однихъ участковъ плазмы къ другимъ. Но, очевидно, что это предположеніе, какъ и предположеніе Czapek'a, переноситъ рѣшеніе вопроса на такую почву, которая пока недоступна ни экспериментальному изслѣдованію, ни даже теоретическому обсужденію, такъ какъ о раздражимости по существу ничего неизвѣстно.

---

1) Несостоятельность гипотезы Tondera и неустранимыя внутреннія противорѣчія, содержащіяся въ ней слишкомъ очевидны. Однако и Pfeffer (Die periodischen Bewegungen d. Blattorgane. Leipzig 1875, p. 149 и Pflanzenphysiologie. Bd. II, p. 644. 1904), допуская, что разница въ гидростатическомъ давленіи клѣточнаго сока въ верхней и нижней половинѣ органа можетъ явиться освобождающимъ моментомъ геотропическаго раздраженія, опредѣляетъ эту разницу при горизонтальномъ положеніи стебля, какъ давленіе водяного столба, высота котораго равна толщинѣ стебля. Едва ли нужно указывать, что это невѣрно. Наклоненіе стебля само по себѣ можетъ быть причиной только того, что въ предѣлахъ каждой клѣтки гидростатическое давленіе будетъ распредѣлено иначе, чѣмъ прежде, но никоимъ образомъ оно не можетъ вызвать такого различія въ величинѣ гидростатическаго давленія между клѣтками верхней и нижней половины стебля, какое предполагаютъ Pfeffer и Tondera. Клѣточныя оболочки слишкомъ сильно напряжены, тургоромъ и, конечно, не отвисаютъ, а вмѣстѣ съ тѣмъ невозможно представить себѣ такихъ свойствъ плазматической перепонки, въ силу которыхъ вода могла бы свободно перетекать изъ верхнихъ клѣтокъ въ нижнія и затѣмъ удерживаться здѣсь при повышенномъ давленіи.

2) Noll, Fr. Über heterogene Induktion. Leipzig. 1892.

Idem. Eine neue Methode der Untersuchung auf Epinastie. Flora. Bd. 77, p. 357. 1893.

Idem. Das Sinnesleben Pflanzen. Ber. über d. Senkenberg. naturforsch. Ges. 1896, p. 169.

Idem. Über Geotropismus. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 34, p. 457. 1900.

Idem. Neue Versuche über d. Winden d. Schlingpflanzen. Sitzungsber. d. Niederrheinish. Gesellschaft f. Natur- u. Heilkunde. 1901, p. 92.

Idem. Zur Controverse über den Geotropismus. Ber. d. D.B.G. Bd. 20, p. 403. 1902.

Němec и Haberlandt[1]), какъ извѣстно, полагаютъ, что свойства статоцистовъ осуществляются въ строеніи спеціальныхъ клѣтокъ, служащихъ для воспріятія геотропическаго раздраженія, въ которыхъ роль статолитовъ играютъ подвижныя зерна крахмала. Чтобы быть послѣдовательными, эти авторы должны были бы присоединиться къ воззрѣніямъ Noll'я относительно сущности измѣненій, обусловливающихъ переходъ одной формы геотропизма въ другую. Насколько мнѣ извѣстно, Haberlandt объ этомъ опредѣленно не высказывался, Němec же склоненъ считать причиной различія геотропическихъ свойствъ соотвѣтствующее распредѣленіе чувствительности въ плазмѣ статоциста, но въ то же время допускаетъ, что: «wenn man «ein Reflexcentrum» annimmt, wie das Czapek thut, kann man in zahlreichen Fällen der Plagiotropie mit dem einfachsten orthotropen Reizfelde auskommen»[2]).

Однако, если допустить единство строенія воспринимающаго аппарата, то для объясненія перехода одной формы геотропизма въ другую пришлось бы сдѣлать еще цѣлый рядъ различныхъ предположеній, и гипотеза слишкомъ усложнилась бы.

Однородность импульсовъ, исходящихъ отъ воспринимающаго аппарата, при всякой формѣ геотропизма едва ли можно допустить, даже предполагая существованіе особаго «Reflexcentrum». Какъ можно видѣть изъ схемъ Noll'я, чрезвычайно трудно представить себѣ такія измѣненія по пути отъ воспринимающаго аппарата къ реагирующему, въ силу которыхъ тотъ же самый импульсъ долженъ былъ бы вызвать иную реакцію, чѣмъ прежде. Для этого пришлось бы прежде всего предположить, что отъ каждой точки чувствительной поверхности воспринимающаго аппарата исходятъ отдѣльные проводники, изъ которыхъ, смотря по «настроенію», функціонируютъ то одни, то другіе. Соотвѣтственно этому пришлось бы предполагать весьма сложное, хотя и недоступное наблюденію, устройство реагирующаго аппарата или того образованія, которому приписывается роль нервнаго центра, или же пришлось бы допустить у растительныхъ организмовъ способность сужденія.

Итакъ, гипотетическія представленія о причинахъ различія формъ геотропизма и объ измѣненіяхъ, совершающихся при переходѣ одной формы въ другую, не отвѣчаютъ какимъ-нибудь хотя бы воображаемымъ, но достаточно опредѣленнымъ особенностямъ строенія или процессамъ, измѣняющимъ его.

То немногое, что извѣстно о переходѣ одной формы геотропизма въ другую, почти совершенно устраняетъ возможность предположенія, что при этомъ измѣняется самая

1) Němec, B. Ueber d. Art. d. Wahrnehmung d. Schwerkraftreizes bei d. Pflanzen. Ber. d. D.B.G. Bd. 18, p. 241. 1900.

Idem. Ueber die Wahrnehmung d. Schwerkraftreizes bei d. Pflanzen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 36, p. 80. 1901.

Idem. Die Perception d. Schwerkraftreizes bei d. Pflanzen. Ber. d. D.B.G. Bd. 20, p. 339. 1902.

Haberlandt, G. Ueber die Perception d. geotropischen Reizes. Ber. d. D.B.G. Bd. 18, p. 261. 1900.

Idem. Ueber die Statolithenfunction d. Stärkekörner. Ber. d. D.B.G. Bd. 20, p. 189. 1902.

Idem. Zur Statolithentheorie des Geotropismus. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 38, p. 447. 1903.

Idem. Bemerkungen zur Statolithentheorie. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 42, p. 321. Heft 2. 1905.

Idem. Physiologische Pflanzenanatomie. Vierte Aufl. Leipzig. 1909.

2) Němec, B. Die Perception d. Schwerkraftreizes bei d. Pflanzen. Ber. d. D.B.G. Bd. 20, p. 350. 1902.

структура воспринимающаго аппарата. Къ такому заключенію приводятъ въ особенности результаты опытовъ надъ вліяніемъ свѣта на геотропизмъ боковыхъ корней, а также и то, что превращеніе геотропизма можетъ быть вызвано дѣйствіемъ ничтожно малыхъ дозъ этилена или ацетилена и при томъ въ кратчайшій срокъ. Однако, въ виду этихъ же самыхъ обстоятельствъ представляется наиболѣе вѣроятнымъ, какъ выше было указано, что какія то измѣненія должны происходить именно въ воспринимающемъ аппаратѣ. Поэтому, очевидно, они могутъ относиться только къ состоянію его или къ процессамъ, совершающимся въ немъ.

Такъ какъ вещества, вызывающія физическія измѣненія въ состояніи плазмы, однородныя съ тѣми, которыя производятся дѣйствіемъ этилена или ацетилена, не оказываютъ на геотропическія свойства того же вліянія, какъ эти газы (выше было показано, что пары бензола, ксилоловъ, нафталина и бромистаго этилена не вызываютъ превращенія геотропизма), то отсюда слѣдуетъ заключить, что ихъ вліяніе состоитъ въ химическомъ воздѣйствіи. Дозы этилена, способныя вызвать превращеніе геотропизма, ничтожно малы, поэтому вѣроятнѣе всего, что дѣйствіе ихъ ограничивается вмѣшательствомъ въ химическіе процессы, происходящіе въ воспринимающемъ аппаратѣ, а отсюда, что самое воспріятіе тѣсно связано съ этими химическими процессами. Это предположеніе находитъ нѣкоторую поддержку въ результатахъ изслѣдованій Czapek'а надъ измѣненіями окислительныхъ процессовъ подъ вліяніемъ геотропическаго раздраженія въ той части корня, гдѣ локализируется воспріятіе его. Данныя относящихся сюда опытовъ слишкомъ неопредѣленны, чтобы на основаніи ихъ можно было составить какое-нибудь представленіе о механизмѣ воспріятія, но все же въ связи съ ними указанное выше различіе въ дѣйствіи веществъ, способныхъ вызывать общую анэстезію (изъ которыхъ одни лишь угнетаютъ геотропическую чувствительность, а другія сверхъ того вызываютъ качественное измѣненіе ея), дѣлаетъ весьма вѣроятнымъ предположеніе, что въ геотропическомъ процессѣ есть фаза (и притомъ очень важная, опредѣляющая качественныя различія реакцій), которая состоитъ изъ химическихъ превращеній.

Едва ли можно думать, что своеобразное физіологическое дѣйствіе этилена и ацетилена свойственно только имъ однимъ [1]). Возможно, что изъ числа химическихъ соединеній растительнаго происхожденія (нерѣдко содержащихъ кратныя связи) нѣкоторыя способны оказывать то же дѣйствіе, какъ и стоящіе во главѣ гомологическихъ рядовъ этиленъ и ацетиленъ. Если это такъ, то, быть можетъ, по крайней мѣрѣ, въ нѣкоторыхъ случаяхъ въ образованіи этихъ веществъ въ соотвѣтствующихъ органахъ растенія мы найдемъ ближайшую причину измѣненія геотропическихъ свойствъ.

---

1) Тѣмъ болѣе, что, какъ показываютъ наблюденія Osw. Richter'а, въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ подобно имъ вліяютъ различныя вещества (хотя Osw. Richter не упоминаетъ о вліяніи ихъ на геотропическія свойства) и—что особенно важно—среди нихъ находятся и такія, которыя вырабатываются самими растеніями, какъ, напр., летучія вещества, содержащіяся въ древесинѣ, или ароматы нѣкоторыхъ цвѣтовъ (Osw. Richter. Über Anthokyanbildung in ihrer Abhängigkeit von äusseren Faktoren. Medizinische Klinik. 1907, p. 1018).

Все чаще и чаще наблюдаемая способность организма по мѣрѣ надобности переводить изъ недѣятельнаго состоянія въ дѣятельное вещества, необходимыя для различныхъ жизненныхъ процессовъ, быть можетъ, играетъ роль и въ регулированіи измѣненій геотропическихъ свойствъ при посредствѣ подобныхъ веществъ [1]). Не трудно было бы составить такую схему соотношеній въ ходѣ химическихъ реакцій въ различныхъ частяхъ клѣтки, которая могла бы объяснить и механизмъ воспріятія геотропическаго раздраженія, и причины качественныхъ измѣненій геотропизма въ силу вліянія того или другого всесторонняго воздѣйствія. Впрочемъ, здѣсь уже начинается область чистыхъ гипотезъ, которыя еще не могутъ быть обоснованы фактическими данными, но вмѣстѣ съ тѣмъ — намѣчается и цѣлый рядъ вопросовъ, доступныхъ экспериментальному изслѣдованію, рѣшеніе которыхъ, какъ мнѣ кажется, должно дать важныя указанія относительно самой сущности геотропическаго процесса, почему я и позволилъ себѣ высказать приведенныя выше соображенія.

---

1) Весьма интересно указаніе Armstrong'a, что существуетъ большая группа («eine grosse Klasse») химическихъ соединеній, играющихъ въ растительномъ организмѣ роль гормоновъ, которая принадлежитъ къ составнымъ частямъ глюкозидовъ, и что изъ глюкозидовъ же происходятъ многія пахучія вещества растеній. (Armstrong, E. F. Die einfachen Zuckerarten und die Glucoside. Autor. Übers. von E. Unna. Berlin. 1913, p. 143).

Литература.

Баранецкій, О. В. О причинахъ направленія вѣтвей деревьевъ и кустарниковъ. Отд. отт. изъ «Зап. Кіевск. Общ. Ест.». 1899.

Вахтель, М. Къ вопросу о геотропизмѣ корней. Отд. отт. изъ «Зап. Новоросс. Общ. Ест.». Т. 23. Одесса. 1899.

Набоких, А. И. О возможности роста корней въ безкислородной средѣ. Журн. Оп. Агрон. Т. 1, стр. 660. 1900.

Idem. Временный анаэробіозъ высшихъ растеній. Ч. I. Спб. 1905.

Палладинъ, В. И. Работа ферментовъ въ живыхъ и убитыхъ растеніяхъ. Днеон. XII Съѣзда Русск. Ест. и Вр. въ Москвѣ. № 4. 1909.

Риттеръ, Г. О пониканіи и выпрямленіи цвѣтоножекъ у мака. Записки Ново-Александрійскаго Инст. Сельск. Хоз. и Лѣс. Т. 19, стр. 82. 1908.

Ротертъ, В. О геліотропизмѣ. Казань. 1893.

Хвольсонъ, О. Д. Курсъ физики. Изд. 2. Т. 2. 1904.

André, Ed. La lutte pour l'existence chez les végétaux. Revue horticole. Vol. 59, p. 10. 1887.

Armstrong, E. F. Die einfachen Zuckerarten und die Glucoside. Autoris. Übersetz. von E. Unna. Berlin. 1913.

Bach, H. Über die Abhängigkeit der geotropischen Präsentations- und Reaktionszeit von verschiedenen Aussendedingungen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 44, p. 57. 1907.

Bannert, O. Über den Geotropismus einiger Infloreszenzachsen und Blütenstiele. Berlin. 1912. Diss.

Bässler, F. Über d. Einfluss d. Dekapitierens auf d. Richtung d. Blätter an orthotropen Sprossen. Bot. Zeitung. Bd. 67. Abt. I, p. 67. 1909.

Bayliss, W. M. und Starling, E. H. Die chemische Koordination der Funktionen des Körpers. Ergebnisse der Physiologie. Bd. 5, p. 664. 1906.

«(Die) Beglaubigung der Hefnerlampe». (Mittheilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt). Zeitschr. f. Instrumentenkunde. Bd. 13. 1893.

Beissner, L. Handbuch der Nadelholzkunde. Berlin. 1891.

Boirivant, A. Recherches sur les organes de remplacement chez les plantes. Ann. de Sc. nat. 8-e Série. T. 6, p. 309. 1897.

Briquet, J. Modifications produites par la lumière dans le géotropisme des stolons des menthes. Bull. du Lab. de Bot. gén. de l'Univ. de Genève. Vol. 1, p. 5. 1896.

Bruck, W. F. Untersuchungen über d. Einfluss von Aussenbedingungen auf d. Orientierung d. Seitenwurzeln. Zeitschr. f. Allg. Physiologie. Bd. 3, p. 486. 1904.

Busse, W. Beiträge zur Kenntniss der Morphologie und Jahresperiode der Weisstanne (Abies alba Mill.). Flora. Bd. 77, p. 113. 1893.

Ciesielski, Th. Untersuchungen über die Abwärtskrümmungen der Wurzel. Diss. Breslau. 1871. (Beitr. zur Biol. d. Pflanzen. Bd. 1. H. 2. 1872).

Compton, R. H. An Investigation of the Seedling Structure in the Leguminosae. The Journ. of the Linnean Soc. Vol. 51. Botany. № 279, p. 1—122. 1912.

Correns, C. Über d. Abhängigkeit d. Reizerscheinungen höherer Pflanzen von d. Gegenwart freien Sauerstoffes. Flora. Bd. 75, p. 87. 1892.

Czapek, Fr. Untersuchungen über Geotropismus. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 27, p. 243. 1895.

Idem. Über d. Richtungsursachen d. Seitenwurzeln und einiger anderer plagiotroper Pflanzentheile. Sitzungsber. d. k. Ak. d. Wiss. in Wien. Bd. 104. Abth. I, p. 1197. 1895.

Idem. Weitere Beiträge zur Kenntniss d. geotropischen Reizbewegungen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 32, p. 175. 1898.

Idem. Die Wirkung verschiener Neigungslagen auf den Geotropismus parallelotroper Organe. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 43, p. 145. 1906.

Idem. Geotropismus und Pflanzenform. Wiesner's Festschrift, p. 92. 1908.

Darwin, Ch. and Fr. The power of movement in plants. London. 1880.

Darwin, Ch. Das Bewegungsvermögen der Pflanzen. Übers. von J. V. Carus. Stuttgart. 1881.

De la Hire. Explication physique de la direction verticale et naturelle des tiges des plantes et des branches des arbres et de leurs racines. Mém. de l'Acad. des Sc. de Paris. 1708, p. 231 («Histore de l'Ac. des Sc.», p. 67).

Dufour. De l'influence de la gravitation sur les mouvements de quelques organes floraux. Arch. des Sc. phys. et nat. de Genève. Troisième période. T. 14, p. 413. 1885.

Duhamel du Monceau. La Physique des Arbres. A Paris. 1758.

Dutrochet, H. Recherches anatomiques et physiologiques sur la structure intime des animaux et des végétaux et sur leur motilité. Paris. 1824.

Idem. Mémoires pour servir à l'histoire anatomique et physiologique des végétaux et des animaux. Paris. 1837.

Duval Jouve, J. Sur une déformation des tiges du Pinus silvestris L. Bull. de la Soc. botan. de France. T. 5, p. 511. 1858.

Errera, Léo. Conflits de préséance et excitations inhibitoires chez les végétaux. Recueil de l'Inst. Bot. L. Errera. T. 6, p. 125. 1906.

Figdor, W. Versuche über d. heliotropische Empfindlichkeit d. Pflanzen. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. in Wien. Bd. 102. Abth. I, p. 45. 1893.

Fitting, H. Untersuchungen über d. geotropischen Reizvorgang. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 41, p. 221—398. 1905.

Frank, A. B. Die natürliche wagerechte Richtung von Pflanzentheilen und ihre Abhängigkeit vom Lichte und von d. Gravitation. Leipzig. 1870.

Fünfstück, M. Zur Frage nach d. aktiven Krümmung d. Knospenstiele der Papaveraceen. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 1, p. 429. 1883.

Göbel, K. Beiträge zur Morphologie und Physiologie d. Blattes. Bot. Zeitung. 1880, p. 753.

Idem. Vergleichende Entwicklungsgeschichte der Pflanzenorgane. Berlin. 1883.

Idem. Organographie der Pflanzen. Jena. 1898—1901.

Idem. Allgemeine Regenerationsprobleme. Flora. Bd. 95, p. 384. 1905.

Idem. Laboratoriumsnotiz. Zur Demonstration positiv geotropischer Sprosse im Winter. Flora. Bd. 94, p. 205. 1905.

Idem. Einleitung in die experimentelle Morphologie der Pflanzen Leipzig und Berlin. 1908.

Guttenberg, H. Ritter von-. Über d. Zusammenwirken von Geotropismus und Heliotropismus in parallelotropen Pflanzenteilen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 45, p. 193. (Heft. 2. 1907).

Idem. Über d. Zusammenwirk. von Geotrop. und Heliotrop. und d. tropistische Empfindlichkeit in reiner und unreiner Luft. Ibidem. Bd. 47, p. 462. 1910.

Haberlandt, G. Über d. Perception d. geotropischen Reizes. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 18, p. 261. 1900.

Idem. Über d. Statolithenfunction d. Stärkekörner. Ibidem. Bd. 20, p. 189. 1902.

Idem. Zur Statolithentheorie d. Geotropismus. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 38. H. 3. 1902, p. 447.

Idem. Bemerkungen zur Statolithentheorie. Ibidem, Bd. 42. H. 2, p. 321. 1905.

Idem. Über d. Verteilung d. geotropischen Sensibilität in d. Wurzel. Ibidem. Bd. 45, p. 575. 1908.

Idem. Physiologische Pflanzenanatomie. 4 Aufl. Leipzig. 1909.

Harreveld, Ph. van-. Die Unzulänglichkeit d. heutigen Klinostaten für reizphysiologische Untersuchungen. Recueil des Travaux Bot. Néerlandais. Vol. 3, p. 173—309. 1907.

Hartig, R. Holzuntersuchungen. Altes und Neues. Berlin. 1901.

Hofmeister, W. Allgemeine Morphologie d. Gewächse. Leipzig. 1868.

Jost, L. Über einige Eigenthümlichkeiten d. Cambiums d. Bäume. Bot. Zeitung. Bd. 59. Abth. I, p. 1. 1901.

Jost, L. Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. I Aufl. Jena. 1904.

Idem. Studien über Geotropismus. I. Die Verteilung d. geotropischen Sensibilität in d. Wurzelspitze. Von. L. Jost. II. Die Veränderung d. geotropischen Reaktion durch Schleuderkraft. Von L. Jost und R. Stoppel. Zeitschr. f. Bot. Bd. 4, p. 161 und 206. 1912.

Körnicke, M. Weitere Untersuchungen über d. Wirkung von Röntgen- und Radiumstrahlen auf d. Pflanzen. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 23, p. 324. 1905.

Kraus, C. Ursachen d. Richtung wachsender Laubsprosse. Flora. 1878.

Kraus, G. Über d. Wasservertheilung in d. Pflanze. IV. Die Acidität d. Zellsaftes. Abhandl. d. naturf. Ges. zu Halle. Bd. 16 (1886). Heft. 2, p. 200. 1884.

Kunze, G. Einige Fälle von Umwandlungen d. Nebenaxen in Hauptaxen bei d. Abietineen. Flora. Bd. 34 (N.R. Bd. 9), p. 145. 1851.

Lidforss, B. Über d. Geotropismus einiger Frühjahrspflanzen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 38 (1903). Heft. 3, p. 343. 1902.

Idem. Weitere Beiträge zur Kenntnis d. Psychroklinie. Lunds Univers. Årsskrift. N. F. Afd. 2. Bd. 4. № 3. 1908.

Linsbauer, K. Über Wachstum und Geotropismus d. Aroideen-Luftwurzeln. Flora. Bd. 97, p. 267. 1907.

Idem. Über d. Geotropismus d. Aroideenfuftwurzeln. Flora. Bd. 99, p. 173. 1908.

Lummer, O. und Brodhun, E. Photometrische Untersuchungen. Zeitschr. f. Instrumentenkunde. Bd. 10, p. 119. 1890.

Maige, A. Recherches biologiques sur les plantes rampantes. Ann. des Sc. nat. 8-e Série. T. 11, p. 249. 1900.

Maillefer, A. Étude sur la réaction géotropique. Bull. de la Soc. Vaudoise des Sc. Nat. Lausanne. 5-e Série. Vol. 46, p. 235—254, 415—432. 1910.

Idem. Nouvelle étude expérimentale sur le géotropisme et essai d'une théorie mathématique de ce phénomène. Ibidem. Vol. 48, p. 411—537. 1912.

Massart, J. Essai de classification des réflexes non nerveux. Recueil de l'Inst. Bot. L. Errera. T. 5, p. 299. 1902. Annales de l'Institut Pasteur. T. 15, p, 135. 1901.

Idem. Sur l'irritabilité des plantes supérieures. Recueil de l'Inst. Bot. L. Errera. T. 6, p. 1. 1906.

Möller, H. Über Pflanzenathmung. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 2, p. 35. 1884.

Moisescu, N. Kleine Mitteilung über d. Anweudung d. horizontalen Mikroskopes zur Bestimmung d. Reaktionszeit. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 23, p. 364. 1905.

Molisch, H. Über Heliotropismus im Bakterienlichte. Sitzungsber. d. k. Ak. d. Wiss. in Wien. Bd. 111. Abt. I, p. 141. 1902.

Idem. Leuchtende Pflanzen. Eine physiologische Studie. Jena. 1904.

Idem. Über Heliotropismus, indirekt hervorgerufen durch Radium. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 23, p. 1. 1905.

Molisch, H. Über d. Einfluss d. Tabakrauches auf d. Pflanze. Sitzungsber. d. k. Ak. d. Wiss. in Wien. Bd. 120. Abt. I, p. 3. 1911.

Nabokich, A. Wie d. Fähigkeit d. höheren Pflanzen zum anaëroben Wachsthum zu beweisen und zu demonstriren ist. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 19, p. 222. 1901.

Němec, B. Über d. Art. d. Wahrnehmung d. Schwerkraftreizes bei d. Pflanzen. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 18, p. 241. 1900.

Idem. Über d. Wahrnehmung d. Schwerkraftreizes bei d. Pflanzen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 36, p. 80. 1901.

Idem. Die Perception d. Schwerkraftreizes bei d. Pflanzen. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 20, p. 339. 1902.

Newcombe, F. C. Limitations of the klinostat as an instrument for scientific research. Science. N.S. Vol. 20, p. 376. New York. 1904.

Idem. Sensitive Life of Asparagus plumosus. A morpho-physiological Study. Beih. zum Bot. Centralblatt. Bd. 31. Abt. I, p. 13. 1913.

Noll, Fr. Über heterogene Induction. Leipzig. 1892.

Idem. Eine neue Methode der Untersuchung auf Epinastie. Flora. Bd. 77, p. 357. 1893.

Idem. Das Sinnesleben d. Pflanzen. Ber. über Senkenberg. naturforschende Gesellschaft in Frankfürt a. M. 1896, p. 169.

Idem. Über Geotropismus. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 34, p. 457. 1900.

Idem. Neue Versuche über d. Winden d. Schlingpflanzen. Sitzunsber. d. Niederrhein. Ges. f. Natur- and Heilkunde zu Bonn. 1901, p. 92.

Idem. Zur Controverse über d. Geotropismus. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 20, p. 403. 1902.

Nordhausen, M. Über Richtung und Wachstum d. Seitenwurzeln unter d. Einfluss äusserer und innerer Faktoren. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 44, p. 557. 1907.

Ohno, N. Über d. Abklingen von geotropischen und heliotropischen Reizvorgängen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 45, p. 601. 1908.

Oltmanns, Fr. Über positiven und negativen Heliotropismus. Flora. Bd. 83, p. 1. 1897.

Pfeffer, W. Die periodischen Bewegungen der Blattorgane. Leipzig. 1875.

Idem. Pflanzenphysiologie. 2 Aufl. 1897—1904.

Piccard, A. Neue Versuche über d. geotropische Sensibilität d. Wurzelspitze. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 40, p. 94. 1904.

Polowzow, Warwara. Untersuchungen über Reizerscheinungen bei d. Pflanzen. Jena. 1909.

Pringsheim jun., E. Einfluss d. Beleuchtung auf d. heliotropische Stimmung. Beitr. z. Biol. d. Pflanzen. Bd. 9. 1909. H. 2, p. 263. 1907.

Raunkiær, C. Comment les plantes géophytes à rhizomes apprécient la profondeur

où se trouvent placés leurs rhizomes? Bull. de l'Ac. r. des Sc. et des Lettres de Danemark. 1904, p. 329.

Richards, H. M. and MacDougal, D. T. The influence of carbon monoxide and other gases upon plants. Bull. of the Torrey Bot. Club. Vol. 31, p. 57. 1904.

Richter, E. Zur Frage nach d. Function d. Wurzelspitze. Diss. Wien. 1902.

Richter, Osw. Über d. Einfluss verunreinigter Luft auf Heliotropismus und Geotropismus. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. in. Wien. Bd. 115. Abt. I, p. 265. 1906.

Idem. Über Antokyanbildung in ihrer Abhängigkeit von äusseren Faktoren. Medizinische Klinik. 1907, p. 1015.

Idem. Über Zusammenwirken von Heliotropismus und Geotropismus. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 46, p. 481. 1909.

Idem. Die horizontale Nutation. Sitzungsber. d. k. Ak. d. Wiss. in Wien. Bd. 119. Abt. I, p. 1051. 1910.

Rimbach, A. Das Tiefenwachstum d. Rhizome. Beitr. z. Wiss. Bot. Bd. 3, p. 177. 1897.

Rothert, W. Die Streitfrage über d. Function d. Wurzelspitze. Flora. Bd. 79, p. 179—218. 1894.

Sachs, J. Über d. Wachsthum d. Haupt- und Nebenwurzeln. Arb. d. Bot. Inst. in Würzburg. Bd. 1, p. 385 u. 584. 1873—1874.

Idem. Über orthotrope und plagiotrope Pflanzentheile. Ibidem. Bd. 2. Heft. 2, p. 226. 1879.

Idem. Stoff und Form d. Pflanzenorgane. Ibidem. Bd. 2, p. 452—488 u. 689—718. 1880—1882.

Idem. Vorlesungen über Pflanzen-Physiologie. Leipzig. 1882.

Schober, A. Das Verhalten d. Nebenwurzeln in d. verticalen Lage. Bot. Zeitung. Bd. 56. Abth. I, p. 1. 1897.

Scholtz, M. Die Nutation d. Blüthenstiele d. Papaver-Arten und d. Sprossenden von Ampelopsis quinquefolia Michx. Beitr. zur Biol. d. Pflanzen. Bd. 5. Heft. 3, p. 373. 1892.

Idem. Die Orientierungsbewegungen d. Blüthenstieles von Cobaea scandens Cav. und d. Blütheneinrichtung dieser Art. Ibidem. Bd. 6, p. 305. 1893.

Schütze, R. Über d. geotropische Verhalten d. Hypokotyls und d. Kotyledons. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 48, p. 379. 1910.

Stahl, E. Einfluss d. Lichtes auf d. Geotropismus einiger Pflanzenorgane. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 2, p. 383. 1884.

Strasburger, E. Über Plasmaverbindungen pflanzlicher Zellen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 36, p. 493—610. 1901.

Tondera, F. Über d. geotropischen Vorgänge in orthotropen Sprossen. Krakau. 1911. 46 pp.

Tourneux, C. Recherches sur la structure der plantules chez les Viciées. Le Botaniste. 11-e Série. 1910, p. 313.

Vallot, J. Le sapin et ses déformations. Paris. 1887.

Van Tieghem, Ph. Traité de Botanique. Deuxième édition. Paris. 1891.

Vöchting, H. Die Bewegungen d. Blüthen und Früchte. Bonn. 1882.

Idem. Über d. Einfluss d. Wärme auf d. Blüthenbewegungen d. Anemone stellata. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 21, p. 285. 1889.

Idem. Über Transplantation am Pflanzenkörper. Tübingen. 1892. 4°.

Idem. Über d. Einfluss niedriger Temperatur auf Sprossrichtung. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 16, p. 37. 1898.

Idem. Über d. Regeneration der Araucaria excelsa. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 40, p. 144. 1904.

Idem. Untersuchungen zur experimentellen Anatomie und Pathologie des Pflanzenkörpers. Tübingen. 1908.

Vries, H. de-. Über einige Ursachen d. Richtung bilateralsymmetrischer Pflanzentheile. Arb. d. bot. Inst. in Würzburg. Bd. 1. H. 2, p. 223. 1872.

Wiesner, J. Die undulirende Nutation der Internodien. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. in Wien. Bd. 77. Abth. I, p. 15. 1878.

Idem. Die heliotropischen Erscheinungen im Pflanzenreiche. Eine physiologische Monographie. Denkschriften d. k. Ak. d. Wiss. in Wien. Bd. 39. Abth. I, p. 195. 1879. Bd. 43. Abth. I, p. 1. 1882.

Idem. Studien über d. Einfluss d. Schwerkraft auf d. Richtung d. Pflanzenorgane. Sitzungsber. d. k. Ak. d. Wiss. in Wien. Bd. 111. Abth. I, p. 733. 1902.

Idem. Oesterreichische Bot. Zeitschr. Bd. 56, p. 370. 1906.

Winkelmann, A. Handbuch der Physik. Sechster Band. Optik. 2 Aufl. Leipzig. 1906.

Wortmann, J. Über die Beziehungen d. intramolecularen zur normalen Atmung d. Pflanzen. Arb. d. bot. Inst. in Würzburg. Bd. 2. H. 3, p. 500. 1880.

Idem. Studien über geotropische Nachwirkungserscheinungen. Bot. Zeitung. Bd. 42, p. 705. 1884.

Zielinski, F. Über d. gegenseitige Abhängigkeit geotropischer Reizmomente. Zeitschr. f. Bot. Bd. 3, p. 81. 1911.

Все чаще и чаще наблюдаемая способность организма по мѣрѣ надобности переводить изъ недѣятельнаго состоянія въ дѣятельное вещества, необходимыя для различныхъ жизненныхъ процессовъ, быть можетъ, играетъ роль и въ регулированіи измѣненій геотропическихъ свойствъ при посредствѣ подобныхъ веществъ [1]). Не трудно было бы составить такую схему соотношеній въ ходѣ химическихъ реакцій въ различныхъ частяхъ клѣтки, которая могла бы объяснить и механизмъ воспріятія геотропическаго раздраженія, и причины качественныхъ измѣненій геотропизма въ силу вліянія того или другого всесторонняго воздѣйствія. Впрочемъ, здѣсь уже начинается область чистыхъ гипотезъ, которыя еще не могутъ быть обоснованы фактическими данными, но вмѣстѣ съ тѣмъ — намѣчается и цѣлый рядъ вопросовъ, доступныхъ экспериментальному изслѣдованію, рѣшеніе которыхъ, какъ мнѣ кажется, должно дать важныя указанія относительно самой сущности геотропическаго процесса, почему я и позволилъ себѣ высказать приведенныя выше соображенія.

---

1) Весьма интересно указаніе Armstrong'a, что существуетъ большая группа («eine grosse Klasse») химическихъ соединеній, играющихъ въ растительномъ организмѣ роль гормоновъ, которая принадлежитъ къ составнымъ частямъ глюкозидовъ, и что изъ глюкозидовъ же происходятъ многія пахучія вещества растеній. (Armstrong, E. F. Die einfachen Zuckerarten und die Glucoside. Autor. Übers. von E. Unna. Berlin. 1913, p. 143).

Литература.

Баранецкій, О. В. О причинахъ направленія вѣтвей деревьевъ и кустарниковъ. Отд. отт. изъ «Зап. Кіевск. Общ. Ест.». 1899.

Вахтель, М. Къ вопросу о геотропизмѣ корней. Отд. отт. изъ «Зап. Новоросс. Общ. Ест.». Т. 23. Одесса. 1899.

Набокихъ, А. И. О возможности роста корней въ безкислородной средѣ. Журн. Оп. Агрон. Т. 1, стр. 660. 1900.

Idem. Временный анаэробіозъ высшихъ растеній. Ч. I. Спб. 1905.

Палладинъ, В. И. Работа ферментовъ въ живыхъ и убитыхъ растеніяхъ. Дневн. XII Съѣзда Русск. Ест. и Вр. въ Москвѣ. № 4. 1909.

Риттеръ, Г. О поникании и выпрямленіи цвѣтоножекъ у мака. Записки Ново-Александрійскаго Инст. Сельск. Хоз. и Лѣс. Т. 19, стр. 82. 1908.

Ротертъ, В. О геліотропизмѣ. Казань. 1893.

Хвольсонъ, О. Д. Курсъ физики. Изд. 2. Т. 2. 1904.

André, Ed. La lutte pour l'existence chez les végétaux. Revue horticole. Vol. 59, p. 10. 1887.

Armstrong, E. F. Die einfachen Zuckerarten und die Glucoside. Autoris. Übersetz. von E. Unna. Berlin. 1913.

Bach, H. Über die Abhängigkeit der geotropischen Präsentations- und Reaktionszeit von verschiedenen Aussendedingungen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 44, p. 57. 1907.

Bannert, O. Über den Geotropismus einiger Infloreszenzachsen und Blütenstiele. Berlin. 1912. Diss.

Bässler, F. Über d. Einfluss d. Dekapitierens auf d. Richtung d. Blätter an orthotropen Sprossen. Bot. Zeitung. Bd. 67. Abt. I, p. 67. 1909.

Bayliss, W. M. und Starling, E. H. Die chemische Koordination der Funktionen des Körpers. Ergebnisse der Physiologie. Bd. 5, p. 664. 1906.

«(Die) Begläubigung der Hefnerlampe». (Mittheilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt). Zeitschr. f. Instrumentenkunde. Bd. 13. 1893.

Beissner, L. Handbuch der Nadelholzkunde. Berlin. 1891.

Boirivant, A. Recherches sur les organes de remplacement chez les plantes. Ann. de Sc. nat. 8-e Série. T. 6, p. 309. 1897.

Briquet, J. Modifications produites par la lumière dans le géotropisme des stolons des menthes. Bull. du Lab. de Bot. gén. de l'Univ. de Genève. Vol. 1, p. 5. 1896.

Bruck, W. F. Untersuchungen über d. Einfluss von Aussenbedingungen auf d. Orientierung d. Seitenwurzeln. Zeitschr. f. Allg. Physiologie. Bd. 3, p. 486. 1904.

Busse, W. Beiträge zur Kenntniss der Morphologie und Jahresperiode der Weisstanne (Abies alba Mill.). Flora. Bd. 77, p. 113. 1893.

Ciesielski, Th. Untersuchungen über die Abwärtskrümmungen der Wurzel. Diss. Breslau. 1871. (Beitr. zur Biol. d. Pflanzen. Bd. 1. H. 2. 1872).

Compton, R. H. An Investigation of the Seedling Structure in the Leguminosae. The Journ. of the Linneau Soc. Vol. 51. Botany. № 279, p. 1—122. 1912.

Correns, C. Über d. Abhängigkeit d. Reizerscheinungen höherer Pflanzen von d. Gegenwart freien Sauerstoffes. Flora. Bd. 75, p. 87. 1892.

Czapek, Fr. Untersuchungen über Geotropismus. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 27, p. 243. 1895.

Idem. Über d. Richtungsursachen d. Seitenwurzeln und einiger anderer plagiotroper Pflanzentheile. Sitzungsber. d. k. Ak. d. Wiss. in Wien. Bd. 104. Abth. I, p. 1197. 1895.

Idem. Weitere Beiträge zur Kenntniss d. geotropischen Reizbewegungen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 32, p. 175. 1898.

Idem. Die Wirkung verschiener Neigungslagen auf den Geotropismus parallelotroper Organe. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 43, p. 145. 1906.

Idem. Geotropismus und Pflanzenform. Wiesner's Festschrift, p. 92. 1908.

Darwin, Ch. and Fr. The power of movement in plants. London. 1880.

Darwin, Ch. Das Bewegungsvermögen der Pflanzen. Übers. von J. V. Carus. Stuttgart. 1881.

De la Hire. Explication physique de la direction verticale et naturelle des tiges des plantes et des branches des arbres et de leurs racines. Mém. de l'Acad. des Sc. de Paris. 1708, p. 231 («Histore de l'Ac. des Sc.», p. 67).

Dufour. De l'influence de la gravitation sur les mouvements de quelques organes floraux. Arch. des Sc. phys. et nat. de Genève. Troisième période. T. 14, p. 413. 1885.

Duhamel du Monceau. La Physique des Arbres. A Paris. 1758.

Dutrochet, H. Recherches anatomiques et physiologiques sur la structure intime des animaux et des végétaux et sur leur motilité. Paris. 1824.

Idem. Mémoires pour servir à l'histoire anatomique et physiologique des végétaux et des animaux. Paris. 1837.

Duval Jouve, J. Sur une déformation des tiges du Pinus silvestris L. Bull. de la Soc. botan. de France. T. 5, p. 511. 1858.

Errera, Léo. Conflits de préséance et excitations inhibitoires chez les végétaux. Recueil de l'Inst. Bot. L. Errera. T. 6, p. 125. 1906.

Figdor, W. Versuche über d. heliotropische Empfindlichkeit d. Pflanzen. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. in Wien. Bd. 102. Abth. I, p. 45. 1893.

Fitting, H. Untersuchungen über d. geotropischen Reizvorgang. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 41, p. 221—398. 1905.

Frank, A. B. Die natürliche wagerechte Richtung von Pflanzentheilen und ihre Abhängigkeit vom Lichte und von d. Gravitation. Leipzig. 1870.

Fünfstück, M. Zur Frage nach d. aktiven Krümmung d. Knospenstiele der Papaveraceen. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 1, p. 429. 1883.

Göbel, K. Beiträge zur Morphologie und Physiologie d. Blattes. Bot. Zeitung. 1880, p. 753.

Idem. Vergleichende Entwicklungsgeschichte der Pflanzenorgane. Berlin. 1883.

Idem. Organographie der Pflanzen. Jena. 1898—1901.

Idem. Allgemeine Regenerationsprobleme. Flora. Bd. 95, p. 384. 1905.

Idem. Laboratoriumsnotiz. Zur Demonstration positiv geotropischer Sprosse im Winter. Flora. Bd. 94, p. 205. 1905.

Idem. Einleitung in die experimentelle Morphologie der Pflanzen. Leipzig und Berlin. 1908.

Guttenberg, H. Ritter von-. Über d. Zusammenwirken von Geotropismus und Heliotropismus in parallelotropen Pflanzenteilen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 45, p. 193. (Heft. 2. 1907).

Idem. Über d. Zusammenwirk. von Geotrop. und Heliotrop. und d. tropistische Empfindlichkeit in reiner und unreiner Luft. Ibidem. Bd. 47, p. 462. 1910.

Haberlandt, G. Über d. Perception d. geotropischen Reizes. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 18, p. 261. 1900.

Idem. Über d. Statolithenfunction d. Stärkekörner. Ibidem. Bd. 20, p. 189. 1902.

Idem. Zur Statolithentheorie d. Geotropismus. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 38. H. 3. 1902, p. 447.

Idem. Bemerkungen zur Statolithentheorie. Ibidem, Bd. 42. H. 2, p. 321. 1905.

Idem. Über d. Verteilung d. geotropischen Sensibilität in d. Wurzel. Ibidem. Bd. 45, p. 575. 1908.

Idem. Physiologische Pflanzenanatomie. 4 Aufl. Leipzig. 1909.

Harreveld, Ph. van-. Die Unzulänglichkeit d. heutigen Klinostaten für reizphysiologische Untersuchungen. Recueil des Travaux Bot. Néerlandais. Vol. 3, p. 173—309. 1907.

Hartig, R. Holzuntersuchungen. Altes und Neues. Berlin. 1901.

Hofmeister, W. Allgemeine Morphologie d. Gewächse. Leipzig. 1868.

Jost, L. Über einige Eigenthümlichkeiten d. Cambiums d. Bäume. Bot. Zeitung. Bd. 59. Abth. I, p. 1. 1901.

Jost, L. Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. I Aufl. Jena. 1904.

Idem. Studien über Geotropismus. I. Die Verteilung d. geotropischen Sensibilität in d. Wurzelspitze. Von. L. Jost. II. Die Veränderung d. geotropischen Reaktion durch Schleuderkraft. Von L. Jost und R. Stoppel. Zeitschr. f. Bot. Bd. 4, p. 161 und 206. 1912.

Körnicke, M. Weitere Untersuchungen über d. Wirkung von Röntgen- und Radiumstrahlen auf d. Pflanzen. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 23, p. 324. 1905.

Kraus, C. Ursachen d. Richtung wachsender Laubsprosse. Flora. 1878.

Kraus, G. Über d. Wasservertheilung in d. Pflanze. IV. Die Acidität d. Zellsaftes. Abhandl. d. naturf. Ges. zu Halle. Bd. 16 (1886). Heft. 2, p. 200. 1884.

Kunze, G. Einige Fälle von Umwandlungen d. Nebenaxen in Hauptaxen bei d. Abietineen. Flora. Bd. 34 (N.R. Bd. 9), p. 145. 1851.

Lidforss, B. Über d. Geotropismus einiger Frühjahrspflanzen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 38 (1903). Heft. 3, p. 343. 1902.

Idem. Weitere Beiträge zur Kenntnis d. Psychroklinie. Lunds Univers. Årsskrift. N. F. Afd. 2. Bd. 4. № 3. 1908.

Linsbauer, K. Über Wachstum und Geotropismus d. Aroideen-Luftwurzeln. Flora. Bd. 97, p. 267. 1907.

Idem. Über d. Geotropismus d. Aroideenfuftwurzeln. Flora. Bd. 99, p. 173. 1908.

Lummer, O. und Brodhun, E. Photometrische Untersuchungen. Zeitschr. f. Instrumentenkunde. Bd. 10, p. 119. 1890.

Maige, A. Recherches biologiques sur les plantes rampantes. Ann. des Sc. nat. 8-e Série. T. 11, p. 249. 1900.

Maillefer, A. Étude sur la réactiou géotropique. Bull. de la Soc. Vaudoise des Sc. Nat. Lausanne. 5-e Série. Vol. 46, p. 235—254, 415—432. 1910.

Idem. Nouvelle étude expérimentale sur le géotropisme et essai d'une théorie mathématique de ce phénomène. Ibidem. Vol. 48, p. 411—537. 1912.

Massart, J. Essai de classification des réflexes non nerveux. Recueil de l'Inst. Bot. L. Errera. T. 5, p. 299. 1902. Annales de l'Institut Pasteur. T. 15, p, 135. 1901.

Idem. Sur l'irritabilité des plantes supérieures. Recueil de l'Inst. Bot. L. Errera. T. 6, p. 1. 1906.

Möller, H. Über Pflanzenathmung. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 2, p. 35. 1884.

Moisescu, N. Kleine Mitteilung über d. Anwendung d. horizontalen Mikroskopes zur Bestimmung d. Reaktionszeit. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 23, p. 364. 1905.

Molisch, H. Über Heliotropismus im Bakterienlichte. Sitzungsber. d. k. Ak. d. Wiss. in Wien. Bd. 111. Abt. I, p. 141. 1902.

Idem. Leuchtende Pflanzen. Eine physiologische Studie. Jena. 1904.

Idem. Über Heliotropismus, indirekt hervorgerufen durch Radium. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 23, p. 1. 1905.

Molisch, H. Über d. Einfluss d. Tabakrauches auf d. Pflanze. Sitzungsber. d. k. Ak. d. Wiss. in Wien. Bd. 120. Abt. I, p. 3. 1911.

Nabokich, A. Wie d. Fähigkeit d. höheren Pflanzen zum anaëroben Wachsthum zu beweisen und zu demonstriren ist. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 19, p. 222. 1901.

Němec, B. Über d. Art. d. Wahrnehmung d. Schwerkraftreizes bei d. Pflanzen. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 18, p. 241. 1900.

Idem. Über d. Wahrnehmung d. Schwerkraftreizes bei d. Pflanzen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 36, p. 80. 1901.

Idem. Die Perception d. Schwerkraftreizes bei d. Pflanzen. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 20, p. 339. 1902.

Newcombe, F. C. Limitations of the klinostat as an instrument for scientific research. Science. N.S. Vol. 20, p. 376. New York. 1904.

Idem. Sensitive Life of Asparagus plumosus. A morpho-physiological Study. Beih. zum Bot. Centralblatt. Bd. 31. Abt. I, p. 13. 1913.

Noll, Fr. Über heterogene Induction. Leipzig. 1892.

Idem. Eine neue Methode der Untersuchung auf Epinastie. Flora. Bd. 77, p. 357. 1893.

Idem. Das Sinnesleben d. Pflanzen. Ber. über Senkenberg. naturforschende Gesellschaft in Frankfürt a. M. 1896, p. 169.

Idem. Über Geotropismus. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 34, p. 457. 1900.

Idem. Neue Versuche über d. Winden d. Schlingpflanzen. Sitzunsber. d. Niederrhein. Ges. f. Natur- and Heilkunde zu Bonn. 1901, p. 92.

Idem. Zur Controverse über d. Geotropismus. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 20, p. 403. 1902.

Nordhausen, M. Über Richtung und Wachstum d. Seitenwurzeln unter d. Einfluss äusserer und innerer Faktoren. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 44, p. 557. 1907.

Ohno, N. Über d. Abklingen von geotropischen und heliotropischen Reizvorgängen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 45, p. 601. 1908.

Oltmanns, Fr. Über positiven und negativen Heliotropismus. Flora. Bd. 83, p. 1. 1897.

Pfeffer, W. Die periodischen Bewegungen der Blattorgane. Leipzig. 1875.

Idem. Pflanzenphysiologie. 2 Aufl. 1897—1904.

Piccard, A. Neue Versuche über d. geotropische Sensibilität d. Wurzelspitze. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 40, p. 94. 1904.

Polowzow, Warwara. Untersuchungen über Reizerscheinungen bei d. Pflanzen. Jena. 1909.

Pringsheim jun., E. Einfluss d. Beleuchtung auf d. heliotropische Stimmung. Beitr. z. Biol. d. Pflanzen. Bd. 9. 1909. H. 2, p. 263. 1907.

Raunkiær, C. Comment les plantes géophytes à rhizomes apprécient la profondeur

où se trouvent placés leurs rhizomes? Bull. de l'Ac. r. des Sc. et des Lettres de Danemark. 1904, p. 329.

Richards, H. M. and MacDougal, D. T. The influence of carbon monoxide and other gases upon plants. Bull. of the Torrey Bot. Club. Vol. 31, p. 57. 1904.

Richter. E. Zur Frage nach d. Function d. Wurzelspitze. Diss. Wien. 1902.

Richter, Osw. Über d. Einfluss verunreinigter Luft auf Heliotropismus und Geotropismus. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. in. Wien. Bd. 115. Abt. I, p. 265. 1906.

Idem. Über Antokyanbildung in ihrer Abhängigkeit von äusseren Faktoren. Medizinische Klinik. 1907, p. 1015.

Idem. Über Zusammenwirken von Heliotropismus und Geotropismus. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 46, p. 481. 1909.

Idem. Die horizontale Nutation. Sitzungsber. d. k. Ak. d. Wiss. in Wien. Bd. 119. Abt. I, p. 1051. 1910.

Rimbach, A. Das Tiefenwachstum d. Rhizome. Beitr. z. Wiss. Bot. Bd. 3, p. 177. 1897.

Rothert, W. Die Streitfrage über d. Function d. Wurzelspitze. Flora. Bd. 79, p. 179—218. 1894.

Sachs, J. Über d. Wachsthum d. Haupt- und Nebenwurzeln. Arb. d. Bot. Inst. in Würzburg. Bd. 1, p. 385 u. 584. 1873—1874.

Idem. Über orthotrope und plagiotrope Pflanzentheile. Ibidem. Bd. 2. Heft. 2, p. 226. 1879.

Idem. Stoff und Form d. Pflanzenorgane. Ibidem. Bd. 2, p. 452—488 u. 689—718. 1880—1882.

Idem. Vorlesungen über Pflanzen-Physiologie. Leipzig. 1882.

Schober, A. Das Verhalten d. Nebenwurzeln in d. verticalen Lage. Bot. Zeitung. Bd. 56. Abth. I, p. 1. 1897.

Scholtz, M. Die Nutation d. Blüthenstiele d. Papaver-Arten und d. Sprossenden von Ampelopsis quinquefolia Michx. Beitr. zur Biol. d. Pflanzen. Bd. 5. Heft. 3, p. 373. 1892.

Idem. Die Orientierungsbewegungen d. Blüthenstieles von Cobaea scandens Cav. und d. Blütheneinrichtung dieser Art. Ibidem. Bd. 6, p. 305. 1893.

Schütze, R. Über d. geotropische Verhalten d. Hypokotyls und d. Kotyledons. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 48, p. 379. 1910.

Stahl, E. Einfluss d. Lichtes auf d. Geotropismus einiger Pflanzenorgane. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 2, p. 383. 1884.

Strasburger, E. Über Plasmaverbindungen pflanzlicher Zellen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 36, p. 493—610. 1901.

Tondera, F. Über d. geotropischen Vorgänge in orthotropen Sprossen. Krakau. 1911. 46 pp.

Tourneux, C. Recherches sur la structure der plantules chez les Viciées. Le Botaniste. 11-e Série. 1910, p. 313.

Vallot, J. Le sapin et ses déformations. Paris. 1887.

Van Tieghem, Ph. Traité de Botanique. Deuxième édition. Paris. 1891.

Vöchting, H. Die Bewegungen d. Blüthen und Früchte. Bonn. 1882.

Idem. Über d. Einfluss d. Wärme auf d. Blüthenbewegungen d. Anemone stellata. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 21, p. 285. 1889.

Idem. Über Transplantation am Pflanzenkörper. Tübingen. 1892. 4⁰.

Idem. Über d. Einfluss niedriger Temperatur auf Sprossrichtung. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 16, p. 37. 1898.

Idem. Über d. Regeneration der Araucaria excelsa. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 40, p. 144. 1904.

Idem. Untersuchungen zur experimentellen Anatomie und Pathologie des Pflanzenkörpers. Tübingen. 1908.

Vries, H. de-. Über einige Ursachen d. Richtung bilateralsymmetrischer Pflanzentheile. Arb. d. bot. Inst. in Würzburg. Bd. 1. H. 2, p. 223. 1872.

Wiesner, J. Die undulirende Nutation der Internodien. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. in Wien. Bd. 77. Abth. I, p. 15. 1878.

Idem. Die heliotropischen Erscheinungen im Pflanzenreiche. Eine physiologische Monographie. Denkschriften d. k. Ak. d. Wiss. in Wien. Bd. 39. Abth. I, p. 195. 1879. Bd. 43. Abth. I, p. 1. 1882.

Idem. Studien über d. Einfluss d. Schwerkraft auf d. Richtung d. Pflanzenorgane. Sitzungsber. d. k. Ak. d. Wiss. in Wien. Bd. 111. Abth. I, p. 733. 1902.

Idem. Oesterreichische Bot. Zeitschr. Bd. 56, p. 370. 1906.

Winkelmann, A. Handbuch der Physik. Sechster Band. Optik. 2 Aufl. Leipzig. 1906.

Wortmann, J. Über die Beziehungen d. intramolecularen zur normalen Atmung d. Pflanzen. Arb. d. bot. Inst. in Würzburg. Bd. 2. H. 3, p. 500. 1880.

Idem. Studien über geotropische Nachwirkungserscheinungen. Bot. Zeitung. Bd. 42, p. 705. 1884.

Zielinski, F. Über d. gegenseitige Abhängigkeit geotropischer Reizmomente. Zeitschr. f. Bot. Bd. 3, p. 81. 1911.

ПОГРѢШНОСТИ И ОПЕЧАТКИ.

Стран.	*Строка*	*Напечатано:*	*Слѣдуетъ:*
36	1 снизу	можно,	можно
47	7 сверху	gerage	gerade
50	3 снизу	Reizkrümmungen	Reizerscheinungen
80	19 сверху	культурахъ	культурахъ,
81	6 снизу	Flgdor	Figdor
82	13 сверху	чувствительность,	чувствительность.
87	3 снизу	къ	на
97	14, 15 и 16 снизу (во II столбцѣ)	близкомъ къ этому направленію.	въ направленіи, близкомъ къ этому.
97	1 снизу (въ VII столбцѣ)	верху	кверху
100	1 снизу	культурѣ но	культурѣ, но
106	18 сверху	по моему мнѣнію	, по моему мнѣнію,
109	21 »	пониженіемъ	измѣненіемъ

ТАБЛИЦА I.

Рис. 1. Приборъ, примѣнявшійся въ опытахъ надъ вліяніемъ вращенія вокругъ горизонтальной оси въ чистомъ воздухѣ или въ опредѣленной смѣси газовъ. На пластинкѣ зеркальнаго стекла, заключенной въ чугунную раму и устанавливающейся горизонтально посредствомъ трехъ винтовъ, помѣщенъ колоколъ на деревянной подставкѣ. Въ вертикальной стѣнкѣ подставки вырѣзано углубленіе, въ которое вложена латунная луженая тарелка; въ серединѣ ея впаяна трубка, въ которой закрѣплена латунная же точеная муфта; ось клиностата проходитъ черезъ эту муфту въ колоколъ, который краями плотно прижимается къ слою глицеринъ-желатина (налитаго предварительно въ латунную тарелку) при помощи обычно примѣнявшагося приспособленія (ч. I, стр. 9). Внутри колокола видны двѣ круглыя никкелевыя корзиночки, въ которыхъ посажены сѣмена: одна изъ нихъ укрѣплена на оси клиностата въ горизонтальномъ положеніи, другая поставлена вертикально на пробковой пластинкѣ. (См. также стр. 13).

Рис. 2. Опытъ 81 (описаніе на стр. 13—14). Горохъ. Проростки, сначала развивавшіеся въ чистомъ воздухѣ и затѣмъ подвергнутые вліянію этилена: I культура стояла неподвижно въ вертикальномъ положеніи, II—вращалась на клиностатѣ вокругъ горизонтальной оси.

Рис. 3. Опытъ 74 (описаніе на стр. 18—19). Горохъ. Проростки, все время находившіеся въ чистомъ воздухѣ: I — неподвижно стоявшіе, II — вращавшіеся на клиностатѣ.

Рис. 4. Опытъ 73 (описаніе на стр. 24—25). Горохъ. Проростки сначала находившіеся въ чистомъ воздухѣ, затѣмъ подвергнутые вліянію этилена, при чемъ они были немного наклонены: въ I культурѣ на спинную сторону, во II — на боковую, въ III — на брюшную.

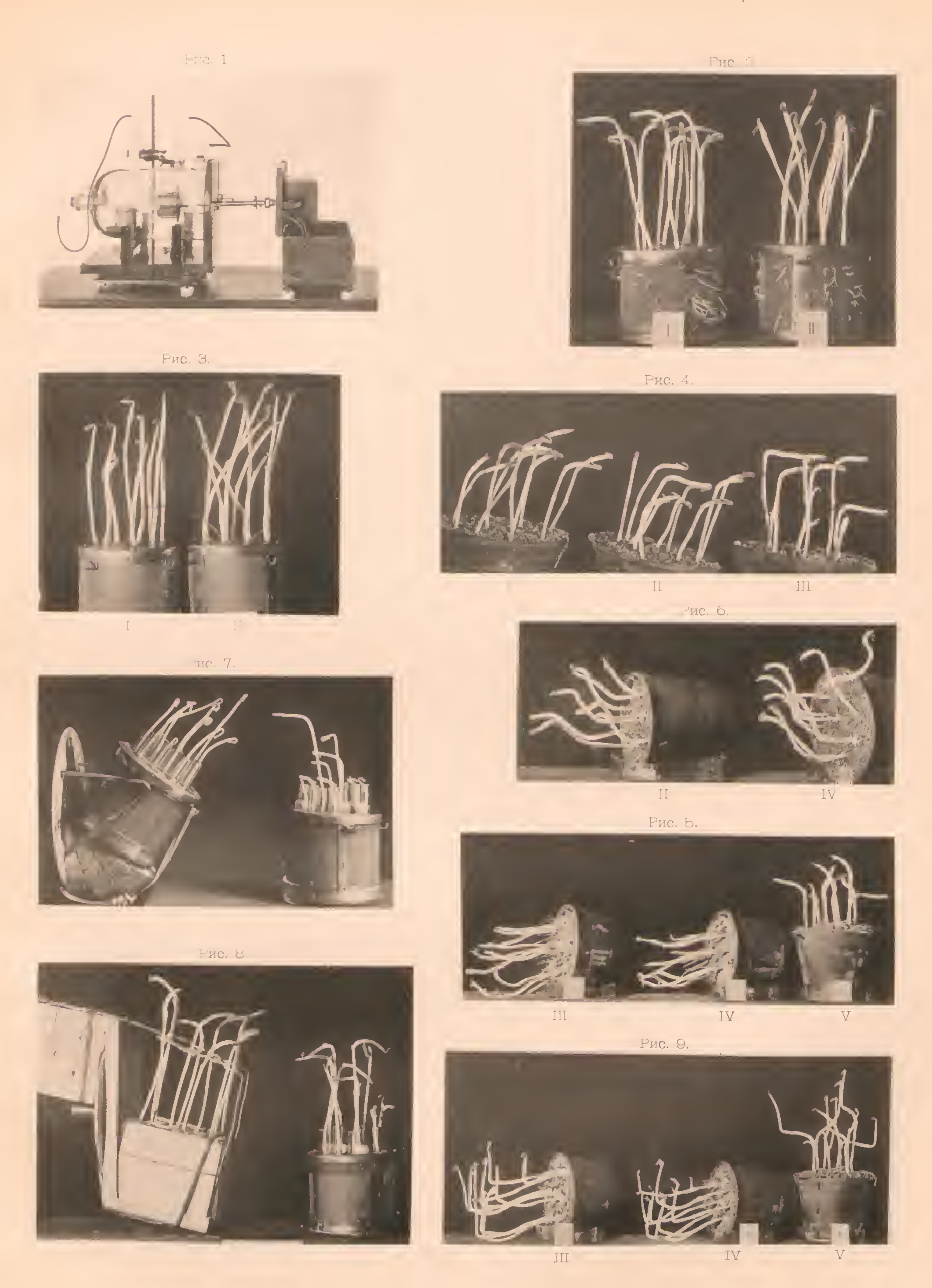
Рис. 5. Опытъ 87 (описаніе на стр. 30—31). Горохъ. Проростки сначала развивались въ чистомъ воздухѣ, затѣмъ были подвергнуты вліянію этилена, причемъ культуры III и IV были приведены въ горизонтальное положеніе, V (контрольная) — оставлена въ вертикальномъ.

Рис. 6. Опытъ 94 (описаніе на стр. 33). Горохъ. Проростки, изогнувшіеся и принявшіе горизонтальное направленіе подъ вліяніемъ этилена, были направлены наклонно. Спустя нѣкоторое время они снова изогнулись и приняли направленіе, близкое къ горизонтальному.

Рис. 7. Опытъ 129 (описаніе на стр. 71). Tropaeolum majus. Проростки, развивавшіеся въ чистомъ воздухѣ и затѣмъ подвергнутые вліянію этилена: слѣва культура, вращавшаяся вокругъ горизонтальной оси и направленная подъ угломъ къ ней, справа — неподвижно стоявшая.

Рис. 8. Опытъ 135 (описаніе на стр. 71—72). Горохъ. Проростки, развивавшіеся въ чистомъ воздухѣ и затѣмъ подвергнутые вліянію этилена: слѣва — культура, вращавшаяся вокругъ горизонтальной оси и направленная подъ угломъ къ ней, справа — неподвижно стоявшая.

Рис. 9. Опытъ 87а (описаніе на стр. 108). Проростки опыта 87-го, помѣщенные въ чистый воздухъ. Сфотографированы черезъ 2 дня.



Р. Голике и А. Вильборгъ СПб.

ТАБЛИЦА II.

Рис. 10. Расположеніе приборовъ и культуръ въ опытахъ 146-мъ, 147-мъ и 148-мъ (см. стр. 93).

a — зеркало, посредствомъ котораго освѣщались культуры, стоявшія на столѣ;

b — зеркало, служившее для освѣщенія культуръ (расположенныхъ на полу) сверху;

c — входной, *d* — выходной манометръ регулятора газоваго давленія;

e — фонарь.

Рис. 11, 12, 13. Опытъ 146 (описаніе на стр. 93—95). Vicia sativa. Вліяніе односторонняго освѣщенія въ воздухѣ съ примѣсью этилена на проростки, находившіеся до того въ чистомъ воздухѣ. Культуры III и VI (контрольныя) оставались въ чистомъ воздухѣ; культуры I, II, III, IV и V освѣщались горизонтальными лучами: свѣтъ падалъ въ плоскости рисунка по направленію отъ V культуры къ I-ой [1]), при чемъ I к. была немного наклонена въ плоскости, перпендикулярной лучамъ, II — отъ свѣта въ противоположную сторону; III, IV и V оставались въ вертикальномъ положеніи; изъ нихъ въ первыхъ двухъ проростки были обращены къ свѣту брюшной стороной, въ V — боковой.

Культуры VI, VII, VIII и IX освѣщались сверху и находились въ томъ положеніи, въ какомъ сфотографированы.

Рис. 14, 15. Опытъ 150 (описаніе на стр. 98). Горохъ. Культуры I, II и III (сначала находившіяся въ чистомъ воздухѣ) были подвергнуты вліянію этилена и черезъ часъ послѣ этого освѣщены; свѣтъ падалъ въ плоскости рисунка по направленію отъ I культуры къ III [1]), при чемъ I культура была наклонена (на 10°) къ свѣту, III — на такой же уголъ отъ свѣта въ противоположную сторону, II — оставалась въ вертикальномъ положеніи; IV культура (контрольная) все время находилась въ чистомъ воздухѣ и освѣщалась съ той стороны, куда наклонились стебли.

Рис. 16. Опытъ 134 (описаніе на стр. 99—100). Горохъ. Проростки, развивавшіеся въ чистомъ воздухѣ, были подвергнуты вліянію этилена и вслѣдъ затѣмъ освѣщались въ теченіе 5 минутъ сильнымъ источникомъ свѣта, при чемъ культуры I и II оставались въ вертикальномъ положеніи, а III и IV — были наклонены отъ свѣта въ противоположную сторону; свѣтъ падалъ въ плоскости рисунка по направленію отъ IV культуры къ I-ой [1]).

---

1) При фотографированіи культуры были поставлены такъ, чтобы на снимкѣ можно было видѣть направленіе изгибовъ. Во время опытовъ онѣ помѣщались, конечно, не одна за другой по направленію лучей, но рядомъ.

Рис. 10.

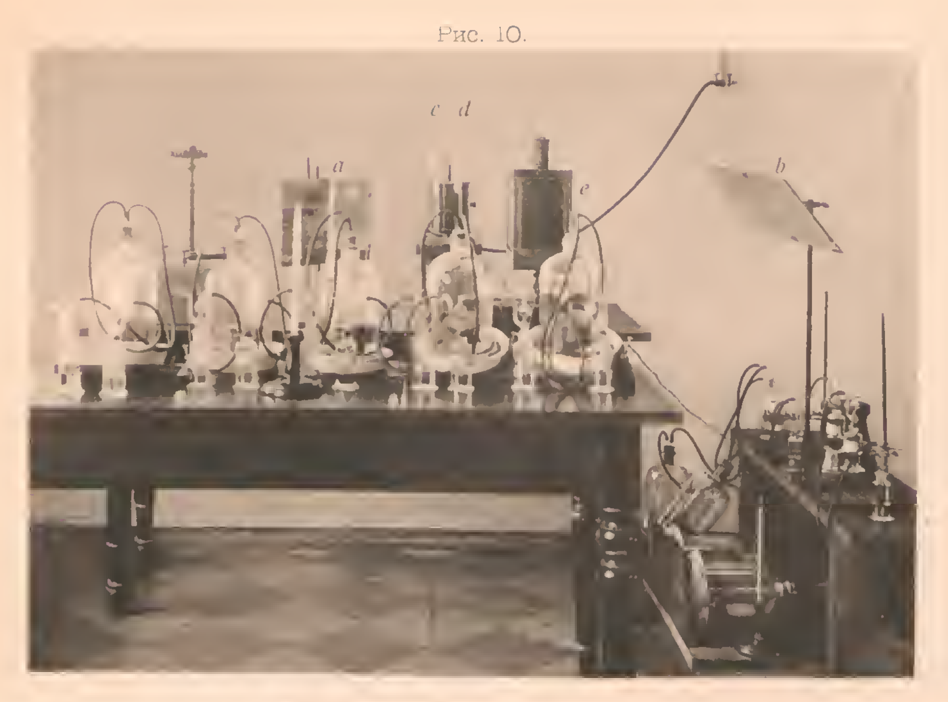


Рис. 15.




Рис. 14.

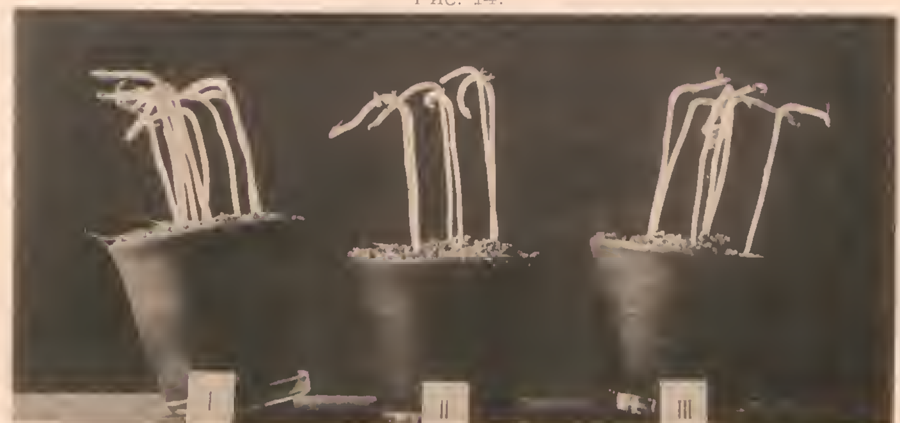


Рис. 11.

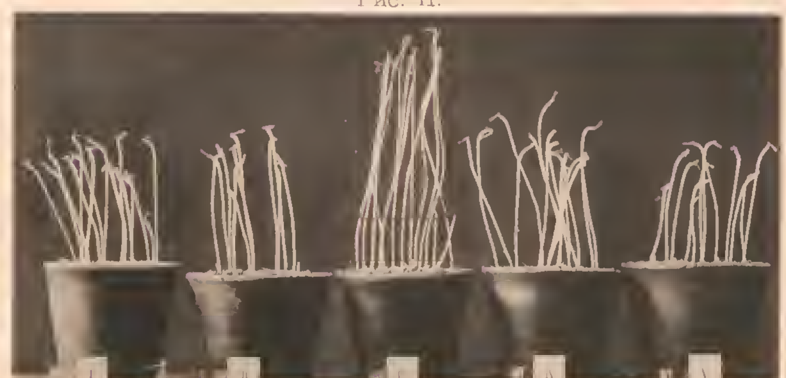


Рис. 13.



Рис. 12.

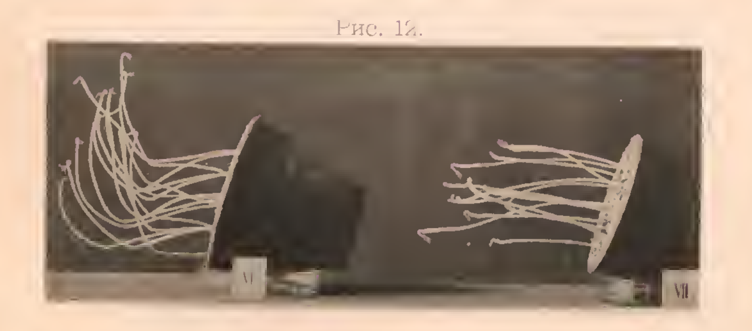


Рис. 16.



Т-во Р. Голике и А. Вильборгъ. СПБ.

Цѣна 2 руб.; Prix 4 Mrk. 50 Pf.

Продается въ Книжномъ Складѣ Императорской Академіи Наукъ и у ея коммиссіонеровъ:
И. И. Глазунова и К. Л. Риккера въ С.-Петербургѣ, Н. П. Карбасникова въ С.-Петерб., Москвѣ, Варшавѣ и Вильнѣ, Н. Я. Оглоблина въ С.-Петербургѣ и Кіевѣ, Н. Киммеля въ Ригѣ, Фоссъ (Г. В. Зоргенфрей) въ Лейпцигѣ, Люзакъ и Комп. въ Лондонѣ.

Commissionnaires de l'Académie Impériale des Sciences:
J. Glasounof et C. Ricker à St.-Pétersbourg, N. Karbasnikof à St.-Pétersbourg, Moscou, Varsovie et Vilna, N. Oglobline à St.-Pétersbourg et Kief, N. Kymmel à Riga, Voss' Sortiment (G. W. Sorgenfrey) à Leipsic, Luzac & Cie à Londres.

ЗАПИСКИ ИМПЕРАТОРСКОЙ АКАДЕМІИ НАУКЪ.
MÉMOIRES
DE L'ACADÉMIE IMPÉRIALE DES SCIENCES DE ST.-PÉTERSBOURG.
VIIIᵉ SÉRIE.

ПО ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОМУ ОТДѢЛЕНІЮ.
Томъ XXXII. № 4.

CLASSE PHYSICO-MATHÉMATIQUE.
Volume XXXII. № 4.

QUELQUES APPLICATIONS NOUVELLES DE LA THÉORIE DE FERMETURE AU PROBLÈME DE REPRÉSENTATION APPROCHÉE DES FONCTIONS ET AU PROBLÈME DES MOMENTS.

Par

W. Stekloff (V. Steklov).

(Présenté à l'Académie le 4 Septembre 1913).

С.-ПЕТЕРБУРГЪ. 1914. ST.-PÉTERSBOURG.

ЗАПИСКИ ИМПЕРАТОРСКОЙ АКАДЕМІИ НАУКЪ.
MÉMOIRES
DE L'ACADÉMIE IMPÉRIALE DES SCIENCES DE ST.-PÉTERSBOURG.
VIII^e SÉRIE.

ПО ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОМУ ОТДѢЛЕНІЮ. Томъ XXXII. № 4.

CLASSE PHYSICO-MATHÉMATIQUE. Volume XXXII. № 4.

QUELQUES APPLICATIONS NOUVELLES

DE LA THÉORIE DE FERMETURE

AU PROBLÈME DE REPRÉSENTATION APPROCHÉE DES FONCTIONS

ET AU PROBLÈME DES MOMENTS.

Par

W. Stekloff (V. Steklov).

(Présenté à l'Académie le 4 Septembre 1913).

С.-ПЕТЕРБУРГЪ. 1914. ST.-PÉTERSBOURG.

Imprimé par ordre de l'Académie Impériale des Sciences.
Février 1914. *S. d'Oldenburg*, Secrétaire perpétuel.

IMPRIMERIE DE L'ACADÉMIE IMPÉRIALE DES SCIENCES.
Vass. Ostr., 9e ligne, № 12.

I.

1. Dans mes travaux que j'ai publiés, depuis l'année 1897, aux Comptes Rendus ainsi que dans divers Journaux périodiques, j'ai établi un grand nombre de certaines égalités générales, communes à plusieurs systèmes de fonctions orthogonales, et susceptibles de nombreuses applications à la solution de divers problèmes importants de l'Analyse pure et de la Physique Mathématique.

Ces recherches, convenablement généralisées, m'ont conduit ensuite à une théorie générale, à laquelle j'ai donné le nom de la «théorie de fermeture des systèmes de fonctions orthogonales».

Les principes de cette théorie, fondée sur les notions élémentaires de l'Analyse, je les ai développés dans mon Mémoire récent: «Sur la théorie de fermeture des systèmes de fonctions orthogonales dépendant d'un nombre quelconque de variables», présenté à l'Académie des Sciences de St.-Pétersbourg le 4 mai 1911.

Parmi les applications nombreuses de cette théorie celles qui concernent les polynomes de Tchébicheff méritent la plus grande attention sous bien des rapports.

Elles nous ont permis, entre autres, d'établir une connexion intime entre les théories de Tchébicheff et entre certains problèmes fondamentaux de la théorie générale des fonctions des variables réelles.

J'ai demontré, par exemple, dans le Mémoire tout à l'heure cité, que le théorème fondamental, connu sous le nom du théorème de Weierstrass, ainsi que le théorème de Liouville-Stieltjes résultent comme une simple conséquence de la théorie de fermeture appliquée aux polynomes de Tchébicheff.

Je me suis borné, dans le Mémoire cité, aux résultats les plus généraux, n'ayant pas l'intention d'épuiser le champ large des applications possibles de la théorie dont il s'agit, mais ces résultats mêmes ainsi que la méthode, qui nous a servi de les déduire, montrent avec évidence que mes recherches contiennent assez de données pour en tirer la solution de plusieurs autres questions qui se rattachent au problème de la représentation approchée des fonctions continues ainsi qu'aux autres problèmes plus ou moins intimement liés avec celui-la.

J'ai déjà indiqué quelques applications nouvelles de la théorie de fermeture à divers problèmes d'Analyse qui se rattachent à plusieurs problèmes de la Physique Mathématique (dans une Communication, présentée à l'Académie des Sciences le 7 novembre 1912) ainsi qu'au problème du développement des fonctions arbitraires en séries procédant suivant les polynomes de Tchébicheff [dans ma Note, publiée au nº 2 du «Bulletin de l'Académie des Sciences de St.-Pétersbourg» de l'année courante, (1 février 1913)].

Je vais en donner maintenant les autres applications non dénuées d'un certain intérêt, mais d'abord je ferai quelques remarques d'un caractère bibliographique.

2. Dans ma Note: «Sur certaines égalités remarquables», insérée aux Comptes Rendus le 10 novembre 1902, j'ai démontré la fermeture de quelques suites simples de fonctions orthogonales trigonométriques.

Il y s'agit d'un cas très particulier des fonctions de Sturm-Liouville, définies par les équations

$$V_k''(x) + (\lambda_k p(x) - q(x)) V_k(x) = 0,$$

$$\begin{aligned} &V_k'(a) - h\, V_k(a) = 0, \\ &V_k'(b) + H V_k(b) = 0, \end{aligned} \qquad h > 0,\ H > 0. \quad (k=0,1,2,\dots) \tag{1}$$

Si l'on pose, en particulier,

$$q(x) = 0, \quad p(x) = 1, \quad h = H = 0, \quad a = 0, \quad b = \pi,$$

on trouve

$$V_0(x) = \sqrt{\frac{1}{\pi}}, \qquad V_k(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}}\cos kx. \tag{α}$$

L'équation, que j'appelle maintenant *l'équation de fermeture*, s'écrira, pour cette suite de fonctions $V_k(x)$, comme il suit:

$$\int_0^\pi f^2(x)\,dx = \sum_{k=0}^{\infty} a_k^2, \tag{2}$$

où

$$a_0 = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^\pi f(x)\,dx, \qquad a_k = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^\pi f(x) \cos kx\,dx \qquad (k = 0, 1, 2, \dots) \tag{2_1}$$

et $f(x)$ *est une fonction quelconque, assujettie à la seule condition d'être intégrable dans l'intervalle* $(0, \pi)$.

L'équation (2) est précisément la deuxième de quatre égalités analogues, signalées dans ma Note citée.

Il suffit d'appliquer l'équation (2) à la fonction

$$f(x) = \varphi(\cos x)$$

et de remplacer ensuite $\cos x$ par x pour transformer l'équation (2) en la suivante

$$\frac{\pi}{2}\int_{-1}^{+1} p(x)\varphi^2(x)\,dx = \frac{1}{2}\left(\int_{-1}^{+1} p(x)\varphi(x)\,dx\right)^2 + \sum_{k=1}^{\infty}\left(\int_{-1}^{+1} p(x)\varphi(x)\varphi_k(x)\,dx\right)^2, \tag{3}$$

où

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$$

et $\varphi_k(x)$ $(k = 0, 1, 2, \ldots .)$ sont les polynomes de Tchébicheff correspondant à la fonction caractéristique $p(x)$, c'est à dire les polynomes ne différant que par un facteur constant de ceux qui s'écartent le moins possible de zéro dans l'intervalle $(-1, +1)$.

3. L'équation (2), comme je l'ai déjà indiqué dans la Note citée, n'est qu'une simple conséquence de l'équation générale

$$\int_a^b p(x) f^2(x)\,dx = \sum_{k=0}^{\infty} B_k^2, \tag{4}$$

où

$$B_k = \int_a^b p(x) f(x)\, V_k(x)\,dx, \qquad (k = 0, 1, 2, \ldots)$$

$V_k(x)$ sont les fonctions fondamentales, définies par les équations (1).

Il est utile de rappeler, pour ce qui va suivre, que l'équation (4) peut être déduite aisément des inégalités

$$\frac{S_n}{T_n} < \frac{1}{k_n}, \qquad T_n < \int_a^b f'^2(x)\,dx, \qquad k_n > Mn^2, \tag{5}$$

$$S_n = \int_a^b p(x) f^2(x)\,dx - \sum_{k=0}^{n} B_k^2,$$

établies au n° 17 (p. 305) de mon Mémoire: «Problème de refroidissement d'une barre hétérogène» (Annales de Toulouse, 1901) et *ayant lieu pour toute fonction* $f(x)$, *admettant la dérivée* $f'(x)$ *assujettie à la seule condition d'être intégrable dans* (a, b); pour en déduire l'égalité (4), il suffit seulement de faire usage de ce théorème:

(C). *Si l'équation de fermeture subsiste pour toute fonction, ayant les dérivées successives jusqu'à l'ordre* p (p *étant un entier quelconque*), *elle subsiste nécessairement pour toute fonction satisfaisant à la seule condition d'être intégrable dans* (a, b) [1]).

La démonstration de ce dernier théorème se trouve au n° 7 (p. 12) de mon Mémoire: «Sur la théorie de fermeture etc.».

4. Remarquons encore que l'équation (3) et, par suite celle de (2), peut être considérée comme un cas très particulier de cette équation générale

$$\int_a^b p(x) f^2(x)\, dx = \sum_{k=0}^{\infty} A_k^2, \tag{6}$$

où

$$A_k = \int_a^b p(x) f(x) \varphi_k(x)\, dx,$$

$p(x)$ est une fonction quelconque, positive dans l'intervalle (a, b), $f(x)$ une fonction intégrable,

$$\varphi_0(x),\ \varphi_1(x),\ \varphi_2(x), \ldots,\ \varphi_k(x), \ldots$$

est une suite de polynomes de Tchébicheff correspondant à la fonction caractéristique $p(x)$.

L'égalité (6) a été établie, à l'aide du théorème de Weierstrass, pour la première fois dans mon Mémoire: «Sur le développement d'une fonction donnée en séries procédant suivant les polynomes de Tchébicheff et, en particulier, suivant les polynomes de Jacobi», publié en 1902 dans le T. 125 du «Journal für die reine und angewandte Mathematik». La démonstration *élémentaire, ne dépendant pas du théorème de Weierstrass*, a été donnée ensuite dans mon Mémoire récent cité plus haut (1911).

5. Dans une autre Note: «Sur quelques conséquences de certains développements en séries analogues aux développements trigonométriques», publiée aux Comptes Rendus le 1 décembre 1902 et ne présentant qu'une suite immédiate de ma Note précédente, j'ai

---

[1]) Il est évident que la supposition que la dernière dérivée de l'ordre p soit continue dans (a, b) ne joue aucun rôle dans la démonstration du théorème. Il suffit de supposer seulement que $f^{(p)}(x)$ *soit intégrable dans* (a, b). Rappelons encore que cette démonstration est tout à fait indépendante du théorème de Weierstrass.

montré que les égalités de la forme (2) conduisent à une méthode simple pour déterminer la limite supérieure de l'erreur qu'on commet dans l'approximation des fonctions continues par certaines sommes trigonométriques finies de l'ordre donné n.

J'y ai attiré aussi l'attention sur ce fait que la même méthode s'applique à la solution de plusieurs autres problèmes intimement liés avec celui-là.

Vu l'évidence de cette assertion, je me suis borné par simple énoncé de quelques uns de ces problèmes à la fin de cette Note.

Parmi ceux-ci je rappellerai les suivants:

(A). *Les valeurs des intégrales*

$$\int_0^\pi f(x)\sin kx dx \quad ou \quad \int_0^\pi f(x)\cos kx dx \qquad (k=0,1,2,\ldots)$$

étant données, trouver la valeur de l'intégrale

$$\int_\alpha^\beta f(x)\,dx,$$

α et β étant deux nombres quelconques, compris entre 0 et π, avec l'approximation donnée.

(B). *Trouver un polynome $P_n(x)$ dont l'écart de la fonction donnée continue $f(x)$ soit plus petit qu'un nombre donné à l'avance ε pour toutes les valeurs de x, comprises dans l'intervalle donné.*

Le premier de ces problèmes a un lien intime avec un problème qu'on appelle souvent *le problème des moments de Stieltjes* et qui a été soulevé pour la première fois par notre grand Géomètre P. L. Tchébicheff.

Le second problème appartient à la classe de questions sur *la représentation approchée des fonctions continues à l'aide des polynomes* qui faisaient l'objet principal des recherches de Tchébicheff, créateur de la théorie des fonctions s'écartant le moins possible de zéro.

6. Le théorème connu de Weierstrass ne fournit pas une réponse immédiate au second de deux problèmes que nous venons d'énoncer [Problème (B)]; il démontre seulement l'existence d'un certain polynome $P(x)$ satisfaisant, pour tous les points de l'intervalle donné (a, b), à l'inégalité

$$|f(x) - P(x)| < \varepsilon,$$

ε étant un nombre positif donné à l'avance, sans établir une relation simple entre le degré n du polynome cherché et l'approximation donnée ε.

Ce théorème se rattache plus à la théorie des fonctions d'une variable réelle qu'au problème de représentation approchée des fonctions, pris en son sens propre.

Ce dernier problème a été posé pour la première fois d'une manière précise, presque trente ans avant de l'apparition des recherches de Weierstrass, par Tchébicheff. Le grand Géomètre s'est proposé de trouver, parmi tous les polynomes de degré donné n, ceux, dont l'écart maximum de la fonction donnée $f(x)$ (continue) a la plus petite valeur possible, ou, en adoptant la terminologie de Tchébicheff même, de *trouver un polynome de degré donné n (ou ne surpassant pas n) qui s'écart le moins possible de la fonction donnée.*

Dans ses recherches, devenues aujourd'hui classiques, Tchébicheff a créé une méthode générale pour résoudre toutes les questions de l'espèce considérée.

Malheureusement, la solution effective de ces problèmes, dans le cas général, présente des difficultés presqu'insurmontables, à l'exception de certains cas particuliers, mais extrêmement importants, qui ont été résolus par Tchébicheff lui même et, puis, par M-rs A. et W. Markoff.

7. La difficulté de donner une solution effective du problème de Tchébicheff, dans les hypothèses plus ou moins générales au sujet de la fonction donnée $f(x)$, a forcé de remplacer ce problème par des autres, moins déterminés et d'une portée incomparablement moindre, mais non dénués, de son tour, d'un certain intérêt.

L'un de ces problèmes a été posé, par exemple, dans ma Note du 1-er décembre 1902 [Problème (B)] où l'on suppose comme donné le degré ε d'approximation et l'on exige de trouver le degré n du polynome ainsi que le polynome même, lorsqu'on connait la valeur de ε.

La solution de ce problème fournit, évidemment, une solution du problème inverse: *le degré n d'un certain polynome approché étant donné, trouver la limite supérieure de l'erreur d'approximation en fonction de n.*

8. On attribue ordinairement à M. de la Vallée Poussin les premières recherches sur ce sujet; il a montré, en effet, en 1908 (Bulletin de l'Académie Royale de Belgique, mars 1908) qu'on peut construire, pour toute fonction ayant une dérivée bornée dans un intervalle donné, un polynome de degré donné n qui fournit une expression approchée d'une telle fonction avec erreur absolue moindre que $\frac{1}{\sqrt{n}}$.

Je profite de l'occasion pour rappeler qu'un résultat analogue m'a été connu depuis longtemps.

Dans mes Notes citées aux n^{os} 2 et 5 et publiées aux Comptes Rendus *six ans avant d'apparition du Mémoire de M. de la Vallée Poussin*, j'ai déjà indiqué une méthode pour résoudre le même problème et j'y ai établi quelques propositions, concernant certaines sommes trigonométriques, qui se transforment tout de suite, par simple changement de la variable, en propositions analogues relatives aux polynomes.

En prenant, seulement comme un titre d'exemple, la première de quatre égalités de ma première Note (C. R. 10 novembre 1902), j'ai énoncé, dans la seconde Note, le théorème suivant:

Quelle que soit la fonction continue $f(x)$ admettant la dérivée du premier ordre dans l'intervalle donné (a, b) et s'annulant pour les limites de cet intervalle, on a toujours

$$\left| f(x) - \frac{2}{b-a} \sum_{k=1}^{n} \sin \frac{k\pi(x-a)}{b-a} \int_a^b f(x) \sin \frac{k\pi(x-a)}{b-a} dx \right| < \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}} \frac{M_1}{\sqrt{n+1}},$$

M_1 désignant le maximum de

$$|f'(x)|$$

dans l'intervalle (a, b).

Il faut remarquer que *je ne suppose pas que $f(x)$ soit continue dans (a, b), mais seulement, comme le montre l'analyse même, que cette dérivée soit intégrable dans l'intervalle considéré.*

Il est aisé de comprendre que ce théorème se transforme, par un simple changement de variable, en un théorème relatif à l'approximation des fonctions continues par des polynomes, analogue à celui de M. de la Vallée Poussin.

La coïncidence des résultats sera encore plus évidente, si nous prenons, comme un titre d'exemple de l'application de notre méthode, les fonctions $\cos kx\,(k = 0, 1, 2, \ldots.)$ correspondant à la deuxième des égalités signalées dans ma Note du 10 novembre 1902.

Si l'on pose

$$(7) \quad R_n(x) = f(x) - \frac{1}{b-a} \int_a^b f(x)\,dx - \frac{2}{b-a} \sum_{k=1}^{n} \cos \frac{k\pi(x-a)}{b-a} \int_a^b f(x) \cos \frac{k\pi(x-a)}{b-a} dx,$$

on arrive tout de suite à l'inégalité

$$(7_1) \qquad |R_n(x)| < \frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{\pi}} \frac{M_1}{\sqrt{n+1}},$$

ayant lieu quelle que soit la fonction $f(x)$ admettant la dérivée du premier ordre intégrable dans (a, b).

La condition que $f(x)$ s'annule pour $x = a$, $x = b$ devient évidemment superflue dans le cas considéré.

L'inégalité (7_1) est précisément celle qui fournit une solution du problème (B), posé dans ma Note citée plus haut, car cette inégalité reste la même aussi pour les polynomes de Tchébicheff correspondant aux fonctions trigonométriques considérées [voir n° 2].

Il suffit de poser

$$n = \mathrm{E}\left(\frac{\varepsilon^2 \pi}{12 M_1^2}\right)$$

pour obtenir une approximation avec l'erreur moindre que ε.

Il est évident en même temps que *l'inégalité* (7_1) *démontre un théorème identique avec celui de M. de la Vallée Poussin.*

9. Les conditions de M. de la Vallée Poussin sont un peu plus générales, car il suppose seulement que la fonction dérivée $f'(x)$ soit bornée, sans supposer qu'elle soit intégrable dans l'intervalle donné, mais il est aisé de s'assurer que *ma méthode s'applique, sans modifications, au cas encore plus général.*

Faisons l'hypothèse que $f(x)$ *soit susceptible de la forme*

$$f(x) = \int_a^x \varphi(x)\, dx + C, \tag{8}$$

où $\varphi(x)$ *est une fonction quelconque assujettie à la seule condition d'être intégrable dans* (a, b), C *est une constante.*

Il est aisé de comprendre que les raisonnements du n° 17 de mon Mémoire: «Problème de refroidissement etc.» ne perdent pas leur sens dans ce dernier cas; il suffit seulement, en se rappelant la formule connue de M. Liapounoff, de remplacer partout $f'(x)$ par $\varphi(x)$.

On aura alors [Compar. les inégalités (5) du n° 3]

$$\frac{S_n}{T_n} < \frac{1}{k_n},$$

où

$$T_n < \int_a^b \varphi^2(x)\, dx,$$

et nous arriverons tout de suite à l'inégalité (7_1), où il faut entendre maintenant par M_1 le maximum de

$$|\varphi(x)|$$

dans l'intervalle (a, b).

Remarquons, enfin, que notre méthode non seulement conduit à un théorème sur l'ordre d'approximation d'une fonction, susceptible de la forme (8), *à l'aide des polynomes de degré* n (énoncé au n° précédent), *mais encore résout le problème du développement de ces fonctions en certaines séries trigonométriques ainsi qu'en série procédant suivant les polynomes de Tchébicheff s'écartant le moins possible de zéro.*

Je m'ai permis de rappeler ces résultats qui m'ont été connus depuis l'année 1902 et qui se renferment dans les remarques de mes Notes, citées plus haut, ou en découlent avec évidence, vu leur connexion intime avec les recherches qui vont suivre.

II.

10. Nous allons considérer, dans le Mémoire actuel, les mêmes questions dont nous avons parlé à la Section précédente, à savoir:

A. *Le problème de représentation approchée des fonctions continues par les sommes trigonométriques ainsi que par les polynomes et*

B. *Le problème des moments,*

c'est à dire les mêmes problèmes qui faisaient l'objet des recherches de mes Notes citées plus haut.

Nous commençons par le problème A.

Soit $f(x)$ une fonction quelconque appartenant à une certaine classe déterminée de fonctions continues définies par certaines conditions complémentaires, soit $P_n(x)$ un polynome de degré donné n formé suivant une loi quelconque déterminée.

Supposons qu'on ait reussi, de n'importe quelle manière, à trouver une limite supérieure du module

$$|f(x) - P_n(x)|$$

en fonction du nombre n.

Désignons cette limite par

$$\psi_n(f)$$

et supposons que *l'expression trouvée de $\psi_n(f)$ soit une fonction de n qui tend vers zéro avec $\frac{1}{n}$.*

Cette fonction dépend évidemment de la fonction donnée $f(x)$, de la loi de la construction du polynome approché $P_n(x)$ ainsi que du procédé qui sert à la déterminer.

L'ordre le plus élevé par rapport à $\frac{1}{n}$ que puisse atteindre la fonction $\psi_n(f)$ correspondant aux polynomes $P_n(x)$ du type donné (formé par une loi quelconque déterminée), lorsqu'on considère à la fois toutes les fonctions $f(x)$ appartenant à une certaine classe déterminée, nous l'appellerons *l'ordre d'approximation des fonctions de la classe donnée par les polynomes du type donné.*

Appelons le maximum de

$$|f(x) - P_n(x)|$$

dans l'intervalle donné *l'écart du polynome $P_n(x)$ de la fonction $f(x)$ dans cet intervalle.*

Parmi tous les polynomes du même degré n il existe au moins un dont l'écart a la plus petite valeur possible[1]), qui s'appelle *le moindre écart du polynome de degré donné n (ou ne surpassant pas n) de la fonction f(x).*

Nous allons désigner cet écart par

$$L_n(f).$$

L'ordre $\left(\text{par rapport à } \frac{1}{n}\right)$ de la limite supérieure précise de $L_n(f)$, correspondant à une famille déterminée de fonctions $f(x)$, nous l'appellerons *l'ordre de la meilleure approximation des fonctions considérées par les polynomes de degré donné n (ou ne surpassant pas n).*

Le but principal de nos recherches consistera dans l'étude de l'ordre d'approximation fournie par les polynomes de Tchébicheff, qui servent d'interpolation parabolique par la méthode des moindres carrés, ainsi que par les sommes trigonométriques qui s'y rattachent pour une classe de fonctions continues satisfaisant à certaines conditions générales.

Nous allons considérer le cas le plus simple des polynomes $\varphi_k(x)$ $(k=0, 1, 2, \ldots)$ qui ne diffèrent que par un facteur constant des polynomes s'écartant le moins possible de zéro dans l'intervalle $(-1, +1)$; nous allons appeler ces polynomes, pour abréger, simplement *polynomes de Tchébicheff.*

Nous allons désigner toujours par

$$\Pi_n(x)$$

le polynome de degré n (ou ne surpassant pas n) de la forme

$$(\alpha) \qquad \Pi_n(x) = A_0\varphi_0(x) + A_1\varphi_1(x) + A_2\varphi_2(x) + \cdots + A_n\varphi_n(x),$$

où

$$A_k = \int_{-1}^{+1} f(x)\varphi_k(x)\frac{dx}{\sqrt{1-x^2}},$$

$\varphi_k(x)$ $(k = 0, 1, 2, \ldots)$ étant les *polynomes de Tchébicheff.*

Tous les autres polynomes du même degré n, nous les désignerons par

$$P_n(x).$$

---

[1]) Ce théorème, dans le cas général, a été établi par M. Kirchberger en 1902 dans son Inaugural-Dissertation: «Über Tchebichefsche Annäherungsmethoden». Göttingen, 1902.

C'est précisément *le problème de représentation approchée des fonctions continues par les polynomes* $\Pi_n(x)$ *qui fera l'objet principal de nos recherches.*

Nous montrerons, entre autres, qu'*il existe une classe étendue de fonctions continues, pour lesquelles les polynomes* $\Pi_n(x)$ *fournissent une approximation dont l'ordre est égal à l'ordre de la meilleure approximation.*

Nous traiterons aussi plussieurs autres questions, plus ou moins intimement liées avec le problème principal, mais nous croyons inutile de les énoncer d'avance dans ces remarques preliminaires.

11. La méthode que nous allons suivre dans nos recherches est fondée sur la théorie générale de fermeture des systèmes de fonctions orthogonales et ne présente qu'une modification, convenablement développée et perfectionnée, de la même méthode dont les premières idées ont été esquissées dans les Notes citées dans la Section précédente (C. R. 1902).

Avant d'aborder la question, il est utile de rappeler quelques formules et propositions fondamentales de la théorie de fermeture dont nous aurons à faire usage dans nos recherches.

Soit

$$\Phi_0(x),\ \Phi_1(x),\ \Phi_2(x),\ldots,\ \Phi_k(x),\ldots$$

une suite quelconque de fonctions *orthogonales* et *normales* correspondant à une fonction *caractéristique* $p(x)$, positive dans l'intervalle donné (a, b) $(b > a)$, c'est à dire une suite de fonctions satisfaisant aux conditions

$$\int_a^b p(x)\Phi_k(x)\Phi_m(x)\,dx = 0, \quad \text{si} \quad k \gtrless m, \tag{9}$$

$$\int_a^b p(x)\Phi_k^2(x)\,dx = 1, \qquad (k = 0, 1, 2, \ldots)$$

Nous dirons que *la suite (9) est fermée, si l'équation (l'équation de fermeture)*

$$\int_a^b p(x) f^2(x)\,dx = \sum_{k=0}^{\infty} A_k^2, \qquad A_k = \int_a^b p(x) f(x)\Phi_k(x)\,dx \tag{10}$$

a lieu pour toute fonction $f(x)$ *assujettie à la seule condition d'être intégrable dans* (a, b).

On a donc, pour toute suite fermée,

$$S_n(f) = \sum_{k=n+1}^{\infty} A_k^2 < \varepsilon^2 \quad \text{pour} \quad n \geqq n_0, \tag{11}$$

où ε est un nombre positif donné à l'avance, n_0 est un entier suffisamment grand.

Posons

$$f(x) = \sum_{k=0}^{n} A_k \Phi_k(x) + R_n(f). \tag{12}$$

On a

$$S_n(f) = \int_a^b p(x) R_n^2(f)\, dx. \tag{13}$$

Soit $\varphi(x)$ une autre fonction satisfaisant à la condition

$$\int_\alpha^\beta p(x)\varphi^2(x)\, dx < M^2, \tag{14}$$

M étant un nombre fixe, α et β étant deux valeurs quelconques de x entre a et b (ou même égales à a et b).

L'équation (12) conduit alors à la suivante

$$\int_\alpha^\beta p(x) f(x) \varphi(x)\, dx = \sum_{k=0}^{n} A_k \int_\alpha^\beta p(x)\varphi(x)\Phi_k(x)\, dx + T_n(f, \varphi), \tag{14$_1$}$$

où

$$T_n(f, \varphi) = \int_\alpha^\beta p(x)\varphi(x) R_n(f)\, dx.$$

Les formules (11), (13) et (14) montrent que

$$|T_n(f, \varphi)| < M\varepsilon \quad \text{pour} \quad n \geqq n_0,$$

c'est à dire

$$T_n(f, \varphi) = \sum_{k=n+1} A_k \int_\alpha^\beta p(x)\varphi(x)\Phi_k(x)\, dx. \tag{14$_2$}$$

Si l'on pose, en particulier,

$$p(x)\varphi(x) = 1,$$

on trouve

$$\int_\alpha^\beta f(x)\, dx = \sum_{k=0}^{n} A_k \int_\alpha^\beta \Phi_k(x)\, dx + T_n(f), \tag{15}$$

où

$$(15_1) \qquad T_n(f) = \sum_{k=n+1}^{n} A_k \int_{\alpha}^{\beta} \Phi_k(x)\,dx.$$

Les formules (15) et (15_1) ont lieu toutes les fois que la fonction $p(x)$ [en vertu de (14)] satisfait à la condition

$$(16) \qquad \int_{\alpha}^{\beta} \frac{dx}{p(x)} < M^2.$$

Prenons pour $f(x)$, dans l'équation (10), la fonction définie par les conditions

$$f(x) = 0 \qquad \text{pour} \quad a \leqq x \leqq \alpha,$$

$$f(x) = \frac{1}{p(x)} \qquad \text{pour} \quad a < x < \beta,$$

$$f(x) = 0 \qquad \text{pour} \quad \beta \leqq x \leqq b.$$

L'équation (10) devient

$$\int_{\alpha}^{\beta} \frac{dx}{p(x)} = \sum_{k=0}^{n} \left(\int_{\alpha}^{\beta} \Phi_k(x)\,dx \right)^2 + S_n\left(\frac{1}{p(x)}\right),$$

où, en vertu de (11),

$$(17) \qquad S_n\left(\frac{1}{p(x)}\right) = \sum_{k=n+1}^{n} \left(\int_{\alpha}^{\beta} \Phi_k(x)\,dx \right)^2 < \varepsilon^2 \quad \text{pour} \quad n \geqq n_0.$$

De la formule (15_1) on tire

$$|T_n(f)| < \sqrt{S_n(f)} \sqrt{S_n\left(\frac{1}{p(x)}\right)}$$

et, en vertu de (11) et (17),

$$(18) \qquad |T_n(f)| < \varepsilon^2 \quad \text{ponr} \quad n \geqq n_0,$$

pourvu que la fonction $p(x)$ satisfasse à l'inégalité (16).

Rappelons, encore, cette proposition qui résulte immédiatement de la définition de fermeture:

C. *Toutes les fois que la suite (9) est fermée et la série*

$$\sum_{k=0}^{\infty} A_k \Phi_k(x)$$

converge uniformément dans l'intervalle (a, b), sa somme est égale à $f(x)$, c'est à dire

$$f(x) = \sum_{k=0}^{\infty} A_k \Phi_k(x)$$

en tous les points de l'intervalle (a, b), et [voir l'égalité (12)]

$$R_n(f) = \sum_{k=n+1}^{\infty} A_k \Phi_k(x). \tag{19}$$

La démonstration de ce théorème peut être trouvée, par exemple, au n° 11 du Chapitre II de mon Mémoire: «Sur certaines égalités générales communes etc.», présenté à l'Académie des Sciences de St.-Pétersbourg le 26 novembre 1903 (Mémoires, Vol. XV, № 7, 1904)[1].

Reproduisons, enfin, une inégalité simple mais très importante pour l'analyse qui va suivre.

Soient, comme précédemment, $f(x)$ et $\varphi(x)$ deux fonctions quelconques intégrables dans (a, b).

On a toujours

$$\sqrt{S_n(f)} \leqq \sqrt{S_n(\varphi)} + \sqrt{\int_a^b p(x)\,(f(x) - \varphi(x))^2\, dx}. \tag{20}$$

La démonstration de cette inégalité se trouve au n° 6 (p. 8) de mon Mémoire «Sur la théorie de fermeture des systèmes de fonctions orthogonales etc.»

12. On sait qu'il est impossible de parler de l'ordre de l'approximation d'une fonction $f(x)$ par les polynomes $P_n(x)$, si l'on suppose seulement que $f(x)$ soit continue.

Pour arriver à un résultat précis, il faut imposer à la fonction $f(x)$ certaines restrictions complémentaires, qui caractérisent, pour ainsi dire, la loi de la continuité d'une manière plus au moins générale.

---

[1]) Voir aussi mon Mémoire: «Sur la théorie de fermeture etc.», cité plus haut, Mémoires de l'Académie des Sciences de St. Pétersbourg, T. XXX, № 4, Théorème XXVII (n° 16).

Nous allons considérer d'abord une famille de fonctions continues satisfaisant à la condition de Lipschitz

$$|f(x+h) - f(x)| < hM, \qquad h > 0, \tag{21}$$

M étant un nombre fixe ne dépendant ni de h, ni de x, x étant compris entre les limites a et b de l'intervalle donné (a, b).

Remarquons que la condition (21) peut être remplacée par cette autre lui équivalente: La fonction continue $f(x)$ est susceptible de la forme

$$f(x) = \int_a^x \varphi(x)\,dx + C, \tag{22}$$

si l'on entend par le symbole

$$\int_a^x \tag{23}$$

l'intégrale au sens de M. Lebesgue et par $\varphi(x)$ une fonction bornée sommable.

Nous prenons pour la définition de la classe considérée de fonctions continues l'équation (22), mais *nous nous bornerons, pour plus de simplicité, au cas où le symbole (23) représente une intégrale prise au sens classique de Riemann,* bien que l'analyse s'étend immédiatement au cas plus général sans rien changer aux raisonnements.

Nous allons donc considérer une famille de fonctions continues définies par la condition (22) où $\varphi(x)$ est une fonction intégrable dans l'intervalle donné au sens de Riemann, C est une constante.

13. Supposons qu'on ait reussi à construire les polynomes $P_n(x)$ de degré n tels qu'on ait, pour toutes les fonctions satisfaisant à la condition (22),

$$|f(x) - P_n(x)| < \psi_n(f),$$

où $\psi_n(f)$ est une fonction positive de n s'annulant avec $\frac{1}{n}$.

On a toujours

$$L_n(f) \leqq \psi_n(f)\ [1].$$

---

[1]) Nous allons entendre maintenant par le symbole $L_n(f)$ la plus grande de toutes les valeurs possibles du moindre écart des polynomes de degré n des fonctions $f(x)$ appartenant à la famille considérée.

Considérons le rapport

$$\frac{L_n(f)}{\psi_n(f)}.$$

Nous avons deux cas à distinguer qui diffèrent essentiellement l'un de l'autre:

Premier cas:

$$\lim_{n=\infty} \frac{L_n(f)}{\psi_n(f)} = 0.$$

Dans ce cas $L_n(f)$ est une quantité de l'ordre plus élevé par rapport à $\frac{1}{n}$ que $\psi_n(f)$.

L'expression de $\psi_n(f)$ ne présente donc pas l'ordre de la meilleure approximation de la fonction $f(x)$ par les polynomes $P_n(x)$.

Il existe (ou au moins peuvent exister) des autres polynomes du même degré n, formés par une loi différente de celle que nous avons employée pour construire les polynomes $P_n(x)$, qui fournissent une approximation meilleure.

Second cas:

$$\lim_{n=\infty} \frac{L_n(f)}{\psi_n(f)} = \mu,$$

où μ est un nombre fixe ne surpassant pas l'unité, mais différent de zéro.

Dans ce cas les quantités

$$L_n(f) \quad \text{et} \quad \psi_n(f)$$

sont du même ordre de grandeur par rapport à $\frac{1}{n}$ et, par suite, *l'ordre de l'expression trouvée de $\psi_n(f)$ peut être pris pour mesure de l'ordre de la meilleure approximation des fonctions considérées par les polynomes de degré n.*

Nous pouvons dire alors que les polynomes trouvés $P_n(x)$ fournissent pour les fonctions de la famille considérée une approximation avec l'ordre de la meilleure approximation.

14. La détermination de la limite supérieure précise de l'écart moindre $L_n(f)$ présente, dans le cas général que nous considérons ici, un problème presqu'insurmontable; mais en revanche nous pouvons, dans certains cas, déterminer une limite inférieure du moindre écart $L_n(f)$.

C'est précisément cette dernière circonstance qui nous permettra d'en déduire quelques conclusions intéressantes.

Supposons qu'on ait trouvé, de n'importe quelle manière, une limite inférieure de $L_n(f)$, que nous désignerons par

$$\theta_n(f),$$

sous la forme d'une fonction de n s'annulant avec $\frac{1}{n}$.

Ici, comme précédemment, deux cas peuvent se présenter:

Premier cas:

$$\lim_{n=\infty} \frac{\theta_n(f)}{\psi_n(f)} = 0.$$

Dans ce cas défavorable nous ne pouvons rien dire sur le rapport

$$\frac{L_n(f)}{\psi_n(f)}$$

qui peut tendre, pour $n = \infty$, vers zéro aussi bien que vers une limite différente de zéro.

La connaissance de la limite inférieure $\theta_n(f)$ ne permet donc pas de reconnaître, présente-t-elle l'expression trouvée de $\psi_n(f)$ l'ordre de la meilleure approximation des fonctions considérées par les polynomes de degré n, ou non.

Second cas:

$$\lim_{n=\infty} \frac{\theta_n(f)}{\psi_n(f)} = \lambda < 1, \quad \lambda > 0.$$

Si cette inégalité se vérifie *pour l'une au moins des fonctions appartenant à la famille considérée*, on a nécessairement

$$\lim_{n=\infty} \frac{L_n(f)}{\psi_n(f)} = \mu < 1, \quad \mu > 0.$$

Dans ce cas on peut donc affirmer que *la valeur trouvée de $\psi_n(f)$ représente en effet l'ordre de la meilleure approximation des fonctions considérées par les polynomes de degré donné n (ou ne surpassant pas n).*

On arrive ainsi à la conclusion suivante:

Supposons qu'on ait trouvé, pour toutes les fonctions $f(x)$ de la famille considérée, une limite supérieure $\psi_n(f)$ de l'écart $L_n(f)$.

Supposons encore qu'on ait reussi, pour l'une au moins des fonctions appartenant à la même famille, à déterminer une limite inférieure $\theta_n(f)$ de $L_n(f)$ telle qu'on ait

$$\lim_{n=\infty} \frac{\theta_n(f)}{\psi_n(f)} = \lambda, \quad \lambda > 0.$$

Cette condition étant remplie, l'ordre de la fonction $\psi_n(f)$ représentera l'ordre de la meilleure approximation des fonctions considérées par les polynomes de degré donné n.

15. Nous avons déjà vu (n[os] 8 et 9 de la Section précédente) que pour les polynomes $\Pi_n(x)$ on a

$$|f(x) - \Pi_n(x)| < \frac{A}{\sqrt{n}} = \psi_n(f),$$

quelle que soit la fonction $f(x)$ satisfaisant à la condition (22).

Nous verrons que c'est une limite trop grossière même pour les polynomes de la forme $\Pi_n(x)$.

Il est naturel d'essayer d'abaisser l'ordre de $\psi_n(f)$ ou de chercher des polynomes d'un autre type qui fournissent une approximation d'ordre plus élevé.

M. D. Jackson dans sa thèse[1]), parue récémment, a indiqué, moyennant les méthodes de M. de la Vallée Poussin et de M. Lebesgue, une loi de construction des polynomes $P_n(x)$ tels qu'on ait

$$|f(x) - P_n(x)| = \psi_n(f) = \frac{A}{n}\cdot$$

Il a montré aussi, par une analyse d'ailleurs très compliquée, que cet ordre d'approximation ne peut pas être élevé pour les polynomes $P_n(x)$ qu'il considère.

Il est naturel de se demander, n'existe-t-il pas des polynomes, formés par une loi différente de celle de M. Jackson, qui puissent fournir encore une meilleure approximation pour les fonctions $f(x)$ satisfaisant à la condition (22), ou l'ordre trouvé $\frac{1}{n}$ est en effet l'ordre de la meilleure approximation?

Nous verrons au n[os] prochains que *notre méthode nous permet d'en donner une réponse complète.*

16. Appliquons l'inégalité (20) du n[0] 11, ayant lieu pour toute suite fermée des fonctions orthogonales $\Phi_k(x)$, aux polynomes $\varphi_k(x)$ de Tchébicheff et posons en même temps

$$\varphi(x) = P_n(x),$$

en entendant par $P_n(x)$ un polynome arbitraire de degré n.

Dans ce cas on trouve

$$S_n(P_n) = 0$$

---

[1]) «Über die Genauigkeit der Annäherung stetiger Functionen durch ganze rationale Funktion gegebenen Grades und durch trigonometrische Summen gegebener Ordnung». Göttingen, 1911. Voir aussi son Mémoire récent: «On approximation by trigonometric sums and polynomials», Transactions of the American Mathematical Society Vol. XIII, n[0] 4, 1912.

et l'inégalité (20) devient [1])

(24) $$\sqrt{S_n(f)} \leq \sqrt{\int_{-1}^{+1} (f(t) - P_n(t))^2 \frac{dt}{\sqrt{1-t^2}}},$$

où

$$S_n(f) = \sum_{k=n+1}^{\infty} \left(\int_{-1}^{+1} f(t) \varphi_k(t) \frac{dt}{\sqrt{1-t^2}} \right)^2.$$

Remplaçant maintenant t par $\cos x$, on obtient

(25) $$S_n(f) = \frac{2}{\pi} \sum_{k=n+1}^{\infty} \left(\int_0^{\pi} F(x) \cos kx dx \right)^2,$$

où l'on a posé

$$F(x) = f(\cos x).$$

Supposons que $P_n(t)$ soit le polynome s'écartant le moins possible de la fonction $f(t)$ dans l'intervalle $(-1, +1)$.

Dans ce cas l' inégalité (24) donne

(26) $$L_n(f) \geqq \sqrt{\frac{1}{\pi}} \sqrt{S_n(f)},$$

car

$$|f(t) - P_n(t)| \leqq L_n(f).$$

17. Appliquons maintenant l'inégalité (26) à la fonction $f(t)$ satisfaisant à la condition

(22) $$f(t) = \int_{-1}^{t} \varphi(z) dz + C,$$

$\varphi(z)$ étant une fonction assujettie à la seule condition d'être intégrable dans l'intervalle $(-1, +1)$.

Les fonctions satisfaisant à l'équation (22) forment une famille de fonctions continues que nous appellerons *famille A.*

Remplaçons t par $\cos x$.

---

[1]) Nous remplaçons, pour plus de commodité, la lettre x par t.

On obtient

$$f(\cos x) = F(x) = \int_{-1}^{\cos x} \varphi(z)\, dz + C,$$

ou

(27) $$F(x) = -\int_{\pi}^{x} \varphi(\cos\xi)\sin\xi d\xi + C = \int_{0}^{x} \psi(\xi)\, d\xi + C_1,$$

où l'on a posé

$$\psi(\xi) = -\varphi(\cos\xi)\sin\xi, \quad C_1 = C + \int_{0}^{\pi} \varphi(\cos\xi)\sin\xi d\xi.$$

La fonction $F(x)$ satisfait donc à la même condition dans l'intervalle $(0, \pi)$ que la fonction $f(t)$ dans l'intervalle $(-1, +1)$, c'est à dire appartient à la famille A.

Considérons l'integrale

$$I_k = \int_{0}^{\pi} F(x)\cos kx dx.$$

On trouve, en tenant compte de (27),

$$I_k = -\frac{1}{k}\int_{0}^{\pi} \psi(x)\sin kx dx = \frac{1}{k}\int_{0}^{\pi} \varphi(\cos x)\sin x \sin kx dx.$$

Faisons l'hypothèse suivante au sujet de la fonction $\varphi(\cos x)$ qui reste jusqu'à présent arbitraire:

La fonction

$$\theta(x) = -\varphi(\cos x)$$

reste positive et croît, lorsque x croît de zéro jusqu'à

$$x = \frac{\pi}{2};$$

elle est égale à zéro pour les valeurs de x comprises entre $\frac{\pi}{2}$ et π.

Dans ce cas l'intégrale I_k s'écrira

$$I_k = -\frac{1}{k}\int_{0}^{\frac{\pi}{2}} \theta(x)\sin x \sin kx dx = -\frac{1}{2k}\int_{0}^{\pi} \theta\left(\frac{x}{2}\right)\sin\frac{x}{2}\sin\frac{kx}{2} dx.$$

Supposons que

$$k = 4m = 2q.$$

On obtient

$$I_k = -\frac{1}{8m}\int_0^{\pi}\theta\left(\frac{x}{2}\right)\sin\frac{x}{2}\sin 2mx\,dx,$$

d'où

(28)
$$I_k = \frac{1}{4q}\sum_{s=1}^{\frac{q}{2}}\int_0^{\frac{\pi}{q}}\psi_s(x)\sin qx\,dx =$$

$$= \frac{1}{4q}\sum_{s=1}^{\frac{q}{2}}\int_0^{\frac{\pi}{q}}\left\{\theta\left(\frac{x}{2}+\frac{2s-1}{2q}\pi\right)\sin\left(\frac{x}{2}+\frac{2s-1}{2q}\pi\right)-\theta\left(\frac{x}{2}+\frac{2s-2}{2q}\pi\right)\sin\left(\frac{x}{2}+\frac{2s-2}{2q}\pi\right)\right\}\sin qx\,dx,$$

où l'on a posé

$$\psi_s(x) = \theta(\xi_s)\sin\xi_s - \theta\left(\xi_s - \frac{\pi}{2q}\right)\sin\left(\xi_s - \frac{\pi}{2q}\right),$$

$$\xi_s = \frac{x}{2} + \frac{2s-1}{2q}\pi.$$

On peut écrire

$$\psi_s(x) = \left(\theta(\xi_s) - \theta\left(\xi_s - \frac{\pi}{2q}\right)\cos\frac{\pi}{2q}\right)\sin\xi_s + \theta\left(\xi_s - \frac{\pi}{2q}\right)\cos\xi_s\sin\frac{\pi}{2q}.$$

Quel que soit l'entier q, on a toujours

$$\cos\frac{\pi}{2q} > 0, \qquad \sin\frac{\pi}{2q} > 0,$$

et, pour toutes les valeurs de $s = 1, 2, \ldots, \frac{q}{2}$, dans le champ d'intégration,

$$\frac{\pi}{2q} < \xi_s < \frac{\pi}{2}.$$

D'autre part, en vertu de l'hypothèse faite au sujet de la fonction $\theta(x)$, on a

$$\theta(\xi_s) - \theta\left(\xi_s - \frac{\pi}{2q}\right)\cos\frac{\pi}{2q} > \theta(\xi_s) - \theta\left(\xi_s - \frac{\pi}{2q}\right) > 0,$$

$$\theta\left(\xi_s - \frac{\pi}{2q}\right) > 0.$$

On a donc

$$\psi_s(x) > \left\{\theta(\xi_s) - \theta\left(\xi_s - \frac{\pi}{2q}\right)\right\} \sin \xi_s > \left\{\theta(\xi_s) - \theta\left(\xi_s - \frac{\pi}{2q}\right)\right\} \sin \frac{\pi}{2q},$$

car

$$\sin \xi_s > \sin \frac{\pi}{2q}.$$

Choisissons maintenant la fonction $\theta(x)$ de façon qu'on ait

$$\theta\left(\frac{x}{2} + \frac{2s-1}{2q}\pi\right) - \theta\left(\frac{x}{2} + \frac{2s-2}{2q}\pi\right) > \frac{1}{\sin \frac{\pi}{2q}}$$

pour toutes les valeurs de x, comprises entre 0 et $\frac{\pi}{q}$ et pour toutes les valeurs de $s = 1, 2, \ldots, \frac{q}{2}$, ce qui est évidemment toujours possible.

On aura alors

$$\psi_s(x) > 1$$

et

$$\int_0^{\frac{\pi}{q}} \psi_s(x) \sin qx dx > \int_0^{\frac{\pi}{q}} \sin qx dx = \frac{2}{q},$$

ce qui nous donne, en vertu de (28),

$$I_k > \frac{1}{4q} = \frac{1}{2k} \qquad k = 4m.$$

18. Nous avons construit ainsi une fonction $\theta(x)$ bien déterminée et intégrable dans l'intervalle $(0, \pi)$, ou, ce qui revient au même, une fonction

$$\varphi(\cos x) = \varphi(z)$$

bien déterminée pour toutes les valeurs de z comprises entre -1 et $+1$.

En entendant, dans (22), par $\varphi(z)$ précisément cette fonction trouvée, on obtient une fonction $f(t)$ appartenant à la famille A.

Appliquons à cette fonction les formules (25) et (26) du n° 16.

En entendant par n, comme toujours, un nombre donné, nous avons quatre cas à distinguer:

(a) $$n = 4m,$$

(b) $$n = 4m + 1,$$

(c) $$n = 4m + 2,$$

(d) $$n = 4m + 3,$$

m étant un entier[1]).

On trouve respectivement

(a) $$S_n(f) > \frac{2}{\pi} I^2_{n+4} = \frac{2}{\pi} I^2_{4(m+1)},$$

(b) $$S_n(f) > \frac{2}{\pi} I^2_{n+3} = \frac{2}{\pi} I^2_{4(m+1)},$$

(c) $$S_n(f) > \frac{2}{\pi} I^2_{n+2} = \frac{2}{\pi} I^2_{4(m+1)},$$

(d) $$S_n(f) > \frac{2}{\pi} I^2_{n+1} = \frac{2}{\pi} I^2_{4(m+1)}.$$

Dans chacun de ces quatre cas on peut construire une fonction correspondante $\theta(x)$ et, par suite, une fonction $f(t)$ telle qu'on ait

$$I_{4(m+1)} > \frac{1}{8(m+1)}.$$

On aura alors

$$S_n(f) > \frac{1}{32\pi(m+1)^2}.$$

On peut donc poser, quel que soit l'entier donné $n > 4$,

$$S_n(f) > \frac{n^2}{2\pi(n+4)^2} \frac{1}{n^2} > \frac{1}{8\pi n^2},$$

la fonction $f(t)$ étant choisie convenablement chaque fois.

L'inégalité (26) deviendra alors

$$L_n(f) > \frac{1}{\pi n 2\sqrt{2}} = \theta_n(f).$$

---

[1]) Nous supposons ainsi que $n \geqq 4$.

En se rappelant maintenant que, d'après le théorème de M. D. Jackson,

$$\psi_n(f) = \frac{A}{n},$$

pour toute fonction $f(t)$ satisfaisant à la condition (22), on s'assure que dans le cas considéré

$$\frac{\theta_n(f)}{\psi_n(f)} = \frac{1}{\pi A 2\sqrt{2}}.$$

Nous avons supposé que $n \overline{\gtrless} 4$, mais il est évident que cette restriction n'a rien d'essentiel.

En tenant compte de ce que nous avons dit à la fin du nº 14, on arrive ainsi au théorème:

Théorème I. *L'ordre de la meilleure approximation (dans chaque intervalle donné)*[1]) *des fonctions continues par les polynomes de degré donné n, si l'on sait seulement que ces fonctions appartiennent à la famille A, ou, ce qui revient au même, qu'elles satisfont à la condition de Lipschitz, est égal à* $\frac{1}{n}$, *et c'est précisément l'approximation que fournissent, par exemple, les polynomes de M. Jackson.*

En d'autre termes, *il est impossible de trouver des polynomes de degré donné n qui puissent fournir, pour toutes les fonctions assujetties uniquement à la condition de vérifier l'inégalité de Lipschitz, une approximation d'ordre plus élevé que* $\frac{1}{n}$.

Le problème de la meilleure approximation des fonctions appartenant à la famille A par les polynomes de degré donné n peut être considéré comme complétement résolu au point de vue où nous sommes placés.

19. Pour aller plus loin dans l'étude du problème qui nous intéresse, il est naturel maintenant de detâcher de la famille de fonctions, dont nous venons de nous occuper, une classe de fonctions plus resserée, en ajoutant à la condition générale (22) quelques restrictions complémentaires.

Nous avons supposé jusqu'à présent que $\varphi(x)$, dans l'intégrale (22), satisfasse à la seule condition d'être intégrable dans l'intervalle donné.

Il est naturel maintenant de faire quelques hypothèses complémentaires au sujet de la fonction $\varphi(x)$.

L'une de ces hypothèses, assez générale, est la suivante:

---

[1]) Nous avons supposé jusqu'à présent que les limites de l'intervalle donné soient -1 et $+1$. Il est évident que cette restriction n'a rien d'essentiel et que le théorème reste vrai pour tout intervalle donné.

La fonction $\varphi(x)$ est une fonction à variation bornée dans l'intervalle donné.

Les fonctions $f(x)$ satisfaisant à la condition (22), où $\varphi(x)$ est non seulement intégrable, mais encore à variation bornée, forment une famille des fonctions continues que nous allons appeler *famille B*.

La première question qui surgit avant tout est la suivante: élève-t-elle, cette hypothèse complémentaire, l'ordre de la meilleure approximation des fonctions de la famille B par les polynomes de degré n en comparaison à celui des fonctions appartenant à la famille plus étendue A?

Supposons, comme au nº 14, qu'on ait trouvé une limite inférieure $\theta_n(f)$ de $L_n(f)$ pour une fonction quelconque de la famille B.

Il est évident que l'ordre de la meilleure approximation ne peut surpasser l'ordre de la fonction $\theta_n(f)$.

Reprenons la fonction $f(x)$ du nº 17, ou, ce qui est plus commode, la fonction

$$-f(t) = -\int_{-1}^{t} \varphi(z)\,dz + C = \int_{-1}^{t} \theta(z)\,dz + C.$$

D'après la définition, la fonction $\theta(z)$ reste positive dans l'intervalle $(-1, +1)$; elle est égale à zéro pour

$$-1 \leqq z < 0$$

et décroît de $\theta(0)$ jusqu'à $\theta(+1)$, lorsque z croît de 0 à $+1$.

Désignons par $N(z)$ une fonction définie par les conditions

$$N(z) = 0 \quad \text{pour} \quad -1 \leqq z < 0,$$

$$N(z) = \theta(0) = \alpha > 0 \quad \text{pour} \quad 0 \leqq z \leqq +1$$

et posons

$$P(z) = \alpha - q(z),$$

$q(z)$ étant une fonction définie par ces conditions

$$q(z) = \alpha \quad \text{pour} \quad -1 \leqq z < 0,$$

$$q(z) = \theta(z) \quad \text{pour} \quad 0 \leqq z \leqq +1.$$

Les fonctions $N(z)$ et $P(z)$, ainsi définies, sont toutes les deux positives et non décroissantes dans l'intervalle $(-1, +1)$.

D'autre part, il est évident que

$$\theta(z) = N(z) - P(z).$$

Donc, $\theta(z)$ est une fonction à variation bornée dans l'intervalle $(-1, +1)$ et, par suite, la fonction $f(t)$ appartient à la famille B.

Or, nous avons déjà vu que, pour cette fonction,

$$\theta_n(f) = \frac{1}{\pi n 2\sqrt{2}}.$$

On en conclut que l'ordre de la meilleure approximation des fonctions de la famille B *ne surpasse* pas $\frac{1}{n}$.

D'autre part, la famille B fait partie de la famille A.

Donc, l'ordre de la meilleure approximation des fonctions de la famille B par des polynomes de degré n est *au moins* égal à $\frac{1}{n}$.

Il s'ensuit ce théorème:

Théorème II. *L'ordre de la meilleure approximation des fonctions continues, si l'on sait seulement qu'elles appartiennent à la famille B de fonctions satisfaisant à la condition (22), où $\varphi(z)$ est une fonction à variation bornée dans l'intervalle donné, est égal précisément à* $\frac{1}{n}$.

20. On voit, de ce qui précède, que l'hypothèse complémentaire que $\varphi(z)$, dans l'équation (22), est une fonction non seulement intégrable mais encore à variation bornée n'exerce aucune influence sur l'ordre de la meilleure approximation des fonctions considérées $f(x)$ par des polynomes.

Il est évident aussi que tout polynome de degré n, formé suivant la loi indiquée par M. Jackson, fournit l'approximation dont l'ordre est égal à celui de la meilleure approximation pour les fonctions de la famille B.

Mais le calcul des polynomes de M. Jackson est assez compliqué, de sorte qu'il est naturel d'essayer de les remplacer par d'autres, plus simples et fournissant la même approximation de l'ordre $\frac{1}{n}$.

Nous verrons que ce sont *précisément les polynomes $\Pi_n(x)$ du n° 10* qui fournissent cette approximation.

21. Reprenons les fonctions (α) du n° 2 de la Section précédente;

$$V_0(x) = \sqrt{\frac{1}{\pi}}, \qquad V_k(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}}\cos kx.$$

On sait que *ces fonctions orthogonales forment une suite fermée.*

Soit $f(x)$ une fonction quelconque de la famille A.

Considérons la série

$$S(x) = a'_0\sqrt{\frac{1}{\pi}} + \sqrt{\frac{2}{\pi}}\sum_{k=1}^{\infty} a'_k \cos kx = \sum_{k=0}^{\infty} a_k \cos kx, \tag{29}$$

où l'on a posé maintenant

$$(29_1)\qquad a_0 = \frac{1}{\pi}\int_0^\pi f(x)\,dx,\qquad a_k = \frac{2}{\pi}\int_0^\pi f(x)\cos kx dx. \qquad (k = 1, 2, 3, \dots)$$

La formule de M. Liapounoff donne, en vertu de (22),

$$\int_0^\pi f(x)\cos kx dx = -\frac{1}{k}\int_0^\pi \varphi(x)\sin kx dx.$$

On a donc

$$a_k = -\frac{b_k}{k} \qquad (k = 1, 2, 3, \dots)$$

où

$$b_k = \frac{2}{\pi}\int_0^\pi \varphi(x)\sin kx dx.$$

La formule (29) devient

$$S(x) = a_0 - \sum_{k=1}^{\infty} b_k \frac{\cos kx}{k}.$$

La série $S(x)$ converge uniformément dans l'intervalle $(0, \pi)$.

Posant, en effet,

$$S(x) = a_0 - \sum_{k=1}^{n} b_k \frac{\cos kx}{k} + \rho_n(x),$$

$$\rho_n(x) = -\sum_{k=n+1}^{\infty} b_k \frac{\cos kx}{k},$$

on trouve

$$(30)\qquad |\rho_n(x)| < \sqrt{\sum_{k=n+1}^{\infty} b_k^2}\sqrt{\sum_{k=n+1}^{\infty}\frac{\cos^2 kx}{k^2}} < \frac{M\sqrt{2}}{\sqrt{n}},$$

ce qui résulte immédiatement de ce fait que

$$\sum_{k=n+1}^{\infty} b_k^2 < \sum_{k=1}^{\infty} b_k^2 < \frac{2}{\pi}\int_0^{\pi}\varphi^2(x)\,dx < 2M^2,$$

M désignant le maximum de $|\varphi(x)|$ dans l'intervalle $(0, \pi)$, et

$$\sum_{k=n+1}^{\infty}\frac{\cos^2 kx}{k^2} < \frac{1}{n}.$$

On a donc, d'après le théorème (C),

$$f(x) = \sum_{k=0}^{n} a_k \cos kx + R_n(f),$$

où

$$R_n(f) = \sum_{k=n+1}^{\infty} a_k \cos kx = \rho_n(x).$$

On en conclut, en vertu de (30), que

$$(31)\qquad |R_n(f)| < \sqrt{2}\,\frac{M}{\sqrt{n}}.$$

C'est une inégalité analogue à celle de (7_1) [Section I, n° 8].

L'inégalité (30) montre que la limite supérieure de $R_n(f)$, fournie par la formule (31), est trop grossière.

Posant, en effet,

$$S_n(\varphi) = \sum_{k=n+1}^{\infty} b_k^2,$$

on peut écrire

$$|R_n(f)| < \frac{\sqrt{S_n(\varphi)}}{\sqrt{n}}.$$

Or, *la suite de fonctions*

$$\Phi_k(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sin kx \qquad (k=1, 2, 3, \ldots)$$

est une suite fermée, comme je l'ai démontré dans une de mes Notes citées plus haut (C. R, 10 novembre 1902).

Par conséquent, en vertu de (11) (n° 11),

$$|R_n(f)| < \frac{\varepsilon}{\sqrt{n}}$$

pour n assez grand.

Cette inégalité a lieu pour toute fonction $\varphi(x)$ intégrable dans $(0, \pi)$.

Supposons maintenant que $\varphi(x)$ *soit une fonction à variation bornée dans* $(0, \pi)$, *c'est à dire que* $f(x)$ *appartienne à la famille* B.

On a alors, d'après le théorème bien connu,

$$|b_k| = \frac{2}{\pi}\left|\int_0^\pi \varphi(x) \sin kx \, dx\right| < \frac{B}{k},$$

B étant un nombre fixe ne dépendant pas de k (ne dépendant que de la fonction $\varphi(x)$).

Il s'ensuit que

$$|R_n(f)| < \sum_{k=n+1}^{\infty} \left| b_k \frac{\cos kx}{k} \right| < B \sum_{k=n+1}^{\infty} \frac{1}{k^2} = \frac{B}{k}.$$

L'analyse de ce n° conduit au théorème:

Théorème III. *Toute fonction continue appartenant à la famille* A *se développe, dans l'intervalle* $(0, \pi)$, *en série uniformément convergente de la forme*

$$f(x) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k \cos kx,$$

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi f(x)\, dx, \qquad a_k = \frac{2}{\pi} \int_0^\pi f(x) \cos kx \, dx.$$

La somme trigonométrique finie à $n+1$ termes

$$S_n(x) = \sum_{k=0}^{n} a_k \cos kx$$

fournit, pour toute fonction de la famille A, une approximation dont l'ordre surpasse $\frac{1}{\sqrt{n}}$.

Si la fonction $f(x)$ appartient à la famille (B), la même somme trigonometrique $S_n(x)$ fournit une approximation de l'ordre $\frac{1}{n}$.

22. Appliquons maintenant ce théorème à la fonction

$$F(x) = f(\cos x)$$

qui, comme on sait (voir n° 17), appartient toujours à la même famille A ou B dans l'intervalle $(0, \pi)$ que la fonction $f(t)$ dans l'intervalle $(-1, +1)$.

On obtient le développement

$$F(x) = f(\cos x) = A_0 \sqrt{\frac{1}{\pi}} + \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cos kx, \tag{32}$$

où

$$A_0 = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\pi} f(\cos x)\, dx,$$

$$A_k = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^{\pi} f(\cos x) \cos kx\, dx.$$

Remplaçons, dans (32), $\cos x$ par x.

Les fonctions

$$\sqrt{\frac{1}{\pi}}, \qquad \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cos kx$$

se transforment en polynomes $\varphi_k(x)$ $(k = 0, 1, 2, \ldots)$ définis par les conditions

$$\int_{-1}^{+1} p(x)\, \varphi_k(x)\, P_{k-1}(x)\, dx, \qquad p(x) = \frac{1}{\sqrt{1-x^2}},$$

$$\int_{-1}^{+1} p(x)\,\varphi_k^2(x)\,dx = 1,$$

$P_{k-1}(x)$ étant un polynome arbitraire de degré $\leqq k-1$, c'est à dire en *polynomes de Tchébicheff* (voir n⁰ 10).

La série (32) se transforme en série procédant suivant les polynomes de Tchébicheff à coefficients formés suivant la loi de Fourier, la somme trigonométrique $S_n(x)$ en polynome de degré n de la forme

$$\Pi_n(x) = \sum_{k=0}^{n} A_k\,\varphi_k(x),$$

$$A_k = \int_{-1}^{+1} f(x)\,\varphi_k(x)\,\frac{dx}{\sqrt{1-x^2}}.$$

Le théorème précédent se change en suivant:

Théorème IV. *Toute fonction $f(x)$ appartenant à la famille A se développe, dans l'intervalle $(-1, +1)$, en une série uniformément convergente de la forme*

$$f(x) = \sum_{k=0}^{\infty} A_k\,\varphi_k(x), \qquad A_k = \int_{-1}^{+1} f(x)\,\varphi_k(x)\,\frac{dx}{\sqrt{1-x^2}},$$

$\varphi_k(x)$ étant les polynomes de Tchébicheff.

Le polynome $\Pi_n(x)$ de degré n, formé de $n+1$ premiers termes de cette série, fournit, pour toute fonction de la famille A, une approximation dont l'ordre surpasse $\frac{1}{\sqrt{n}}$.

Si la fonction $f(x)$ appartient à la famille B, le même polynome $\Pi_n(x)$ fournit une approximation de l'ordre $\frac{1}{n}$.

Si nous nous rappelons encore le théorème II du n⁰ 19, on arrive à ce théorème:

Théorème V. *Le polynome de degré n*

$$\Pi_n(x) = \sum_{k=0}^{n} A_k\,\varphi_k(x)$$

fournit une expression approchée des fonctions appartenant à la famille B avec l'ordre de la meilleure approximation qui est égal précisément à $\frac{1}{n}$.

23. Il est intéressant de comparer les résultats obtenus avec ceux de M. de la Vallée Poussin qu'il a déduits, par une méthode beaucoup plus compliquée et n'ayant rien de commun avec la nôtre, dans son Mémoire: «Sur la convergence des formules d'interpolation entre ordonnées équidistantes» (Bulletin de l'Académie des Sciences de Belgique, avril 1908, p.p. 405—410).

Il a montré que la fonction $f(x)$, ayant une dérivée à variation bornée dans l'intervalle donné, peut être représentée dans cet intervalle par le polynome de degré pair $2n$

$$P_{2n}(x) = \frac{m}{\pi} \sum_{k=1}^{n} \frac{(-1)^k}{(2k-1)!} \int_a^b f(z)\, m^{2k} (z-x)^{2k}\, dz$$

avec une erreur absolue moindre que

$$\frac{B}{2n+3},$$

B étant un certain nombre fixe ne dépendant pas de n.

Notre méthode conduit à la fois et d'une manière simple à la solution du problème de développement des fonctions de la famille A en séries de polynomes de Tchébicheff ainsi qu'à celle de représentation approchée de ces fonctions et de celles de la famille B par des polynomes.

Ces fonctions satisfont aux conditions plus générales, car elles peuvent n'avoir pas la dérivée au moins en une infinité de points d'un ensemble de mesure nulle et, d'autant plus, une dérivée à variation bornée.

La condition que le polynome approché est pair ne joue aucun rôle.

Dans le cas des fonctions de la famille B le polynome approché $\Pi_n(x)$, coïncidant avec celui qui sert d'interpolation parabolique par la méthode des moindres carrés, fournit, en même temps, une approximation de l'ordre $\frac{1}{n}$ qui est précisément l'ordre de la meilleure approximation.

24. Montrons maintenant qu'il existe une classe encore plus étendue de fonctions continues qui peuvent être représentées approximativement par le même polynome $\Pi_n(x)$ avec le même ordre d'approximation.

Reprenons la définition la plus générale des fonctions de la famille A, à savoir la condition de Lipschitz:

$$|f(x+h) - f(x)| < hM, \qquad h > 0, \tag{21}$$

pour tous les points x de l'intervalle $(-1, +1)$.

Cette condition montre que toute fonction $f(x)$ de la famille A est nécessairement une fonction à variation bornée.

Désignant, en effet, par $T(x)$ la variation totale de $f(x)$ dans l'intervalle $(-1, x)$, on s'assure tout de suite que

$$T(x) = \sum_{k=1}^{n} |f(x_k) - f(x_{k-1})| < M(1+x) = Ml,$$

l désignant la longueur de l'intervalle considéré.

Il est évident en même temps que $f(x)$ est une fonction *absolument continue*, comme on dit aujourd'hui.

On peut donc poser toujours

$$f(x+h) - f(x) = h\theta(x, h), \tag{33}$$

où $\theta(x, h)$ est une fonction à variation bornée et satisfaisant à la condition

$$|\theta(x, h)| < M, \tag{34}$$

M étant un nombre fixe ne dépendant ni de x, ni de h.

La variation totale de la fonction $\theta(x, h)$, dans tout intervalle $(-1, x)$ est une fonction de x et de h.

Désignons cette variation par $T(x, h)$.

C'est une fonction bornée positive et croissant avec x pour chaque valeur donnée de h.

Supposons que h tende vers zéro.

Nous avons deux cas à distinguer: ou $T(x, h)$ *croît au delà de toute limite, lorsque* h *tend vers zéro*, ou $T(x, h)$ *reste toujours plus petit qu'un nombre fixe* N *ne dépendant ni de* x, *ni de* h, *c'est à dire*

$$T(x, h) < N, \tag{35}$$

quelle que soit la quantité positive h.

Il est aisé de s'assurer que *les fonctions de la famille B ne présentent qu'un cas particulier de fonctions jouissant cette dernière propriété.*

Si $\varphi(x)$, dans la formule (22), est une fonction à variation bornée, il en est de même de la fonction

$$\varphi(t+x),$$

t étant une quantité positive que nous supposons comprise entre 0 et h.

Soient x_k et $x_{k-1} (x_k > x_{k-1})$ deux valeurs quelconques de x comprises dans l'intervalle (a, b).

On a, en vertu de (22),

$$\theta(x, h) = \frac{f(x+h) - f(x)}{h} = \frac{1}{h}\int_0^h \varphi(t+x)\,dt$$

et

$$\theta(x_k, h) - \theta(x_{k-1}, h) = \frac{1}{h}\int_0^h \left(\varphi(t+x_k) - \varphi(t+x_{k-1})\right) dt.$$

Donnant à x une suite de valeurs croissantes

$$a,\ x_1,\ x_2, \ldots,\ x_k,\ x_{k-1}, \ldots,\ x,$$

on trouve, pour tout intervalle (a, x),

$$\sum |\theta(x_k, h) - \theta(x_{k-1}, h)| < \frac{1}{h}\int_0^h \sum |\varphi(t+x_k) - \varphi(t+x_{k-1})|\,dt.$$

Or, la somme sous le signe de l'intégrale ne surpasse pas la variation totale de la fonction

$$\varphi(t+x)$$

dans l'intervalle (a, x), ou, ce qui revient au même, la variation totale de $\varphi(x)$ dans l'intervalle $(a+t, x+t)$.

D'après l'hypothèse faite, cette dernière ne surpasse pas un nombre fixe N qui peut être assigné indépendamment de la valeur de t, comprise entre 0 et h.

Il s'ensuit que

$$\sum |\theta(x_k, h) - \theta(x_{k-1}, h)| < N,$$

c'est à dire

$$T(x, h) < N.$$

Par conséquent, *toute fonction appartenant à la famille B satisfait aux conditions* (33), (34) *et* (35).

On peut indiquer une autre famille B' de fonctions jouissant la même propriété.

Désignons par

$$\Delta_h^2(f)$$

la différence finie du second ordre de la fonction $f(x)$.

Considérons le rapport

$$\frac{\Delta_h^2(f)}{h^2} = \frac{f(x+2h) - 2f(x+h) + f(x)}{h^2}.$$

Deux cas peuvent se présenter: ou *le rapport*

$$\frac{\Delta_h^2(f)}{h^2}$$

croît au delà de toute limite, lorsque h tend vers zéro, ou *ce rapport reste toujours plus petit qu'un nombre fixe M ne dépendant ni de x, ni de h.*

Considérons la famille des fonctions satisfaisant à cette seule condition

$$\left|\frac{\Delta_h^2(f)}{h^2}\right| < M,$$

qui peut s'écrire évidemment

$$\frac{|\theta(x+h,h) - \theta(x,h)|}{h} < M.$$

Il s'ensuit que, dans le cas considéré, la fonction $\theta(x,h)$ satisfait à la condition de Lipschitz et, par suite, peut être représentée sous la forme

$$\theta(x,h) = \int_a^x \theta_1(x)\,dx + C,$$

$\theta_1(x)$ étant une fonction bornée dans l'intervalle (a, b).

On en conclut que $\theta(x,h)$ est une fonction à variation bornée vérifiant l'inégalité (35).

On voit que *les conditions* (33), (34) *et* (35) *définissent une famille C de fonctions qui renferme les familles B et B' comme un cas particulier.*

25. Soit $f(x)$ une fonction quelconque de la famille C.

Introduisons une fonction auxiliaire

$$\psi(x) = \frac{1}{h}\int_x^{x+h} f(x)\,dx$$

dont nous avons fait usage déjà plusieurs fois[1]).

---

1) Voir, par exemple, ma Note: «Sur la condition de fermeture des systèmes de fonctions orthogonales». Comptes Rendus, 12 décembre 1910. Voir aussi mon Mémoire: «Sur la théorie de fermeture etc.», cité plus haut.

C'est une fonction ayant la dérivée

$$\psi'(x) = \frac{f(x+h) - f(x)}{h} = \theta(x, h), \tag{36}$$

qui satisfait, d'après l'hypothèse faite, aux inégalités (34) et (35).

Désignons par

$$N(x, h) \quad \text{et} \quad P(x, h)$$

les variations positive et négative de la fonction $\theta(x, h)$ dans l'intervalle $(0, x)$.

On peut écrire

$$\theta(x, h) - \theta(0, h) = N(x, h) - P(x, h) \tag{37}$$

où, en vertu de (35),

$$N(x, h) + P(x, h) < M, \tag{38}$$

M désignant le plus grand de deux nombres M et N.

Posons maintenant

$$\psi(x) = S_n(x, h) + R_n(\psi), \tag{39}$$

où

$$S_n(x, h) = \sum_{k=0}^{n} a_k' \cos kx,$$

et

$$\begin{aligned} a_0' &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \psi(x)\, dx, \\ a_k' &= \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \psi(x) \cos kx dx. \end{aligned} \tag{40}$$

La série

$$S(x, h) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k' \cos kx$$

converge *uniformément* dans l'intervalle $(0, \pi)$.

On peut donc écrire, en vertu du théorème (C) du n° 9,

(41) $$R_n(\psi) = \sum_{k=n+1}^{\infty} a_k' \cos kx.$$

Considérons l'intégrale

(42) $$I_k = \int_0^{\pi} \psi(x) \cos kx dx.$$

On trouve, en vertu de (36),

$$I_k = -\frac{1}{k}\int_0^{\pi} \psi'(x) \sin kx dx = -\frac{1}{k}\int_0^{\pi} \theta(x, h) \sin kx dx = -\frac{J_k}{k}.$$

Écrivons l'intégrale J_k sous la forme

$$J_k = \int_0^{\pi} \big(\theta(x, h) - \theta(0, h)\big) \sin kx dx + \int_0^{\pi} \theta(0, h) \sin kx dx$$

et tenons compte de (37).

Il viendra

$$J_k = \int_0^{\pi} N(x, h) \sin kx dx - \int_0^{\pi} P(x, h) \sin kx dx + \theta(0, h)\frac{1-(-1)^k}{k}.$$

On en tire à l'aide du théorème de la moyenne, en ayant égard à (37),

$$J_k = \frac{1}{k}\Big(\theta(0, h) + (-1)^{k+1}\theta(\pi, h) + \big(N(\pi, h) - N(0, h)\big)\cos k\xi -$$
$$-\big(P(\pi, h) - P(0, h)\big)\cos k\xi_1\Big),$$

ξ et ξ_1 étant deux nombres compris entre 0 et π.

En se rappelant que $N(x, h)$ et $P(x, h)$ sont les fonctions positives et croissantes de leur nature, on trouve

$$\big|\big(N(\pi, h) - N(0, h)\big)\cos k\xi\,\big| < N(\pi, h),$$
$$\big|\big(P(\pi, h) - P(0, h)\big)\cos k\xi_1\big| < P(\pi, h).$$

Par conséquent, en vertu de (34) et (38),

$$|J_k| < \frac{3M}{k}$$

et

$$|I_k| = \frac{|J_k|}{k} < \frac{3M}{k^2}.$$

On a donc, en ayant égard à (40) et (42),

$$|a_k'| < \frac{6M}{\pi k^2}$$

et, en vertu de (39) et (41),

$$|\psi(x) - S_n(x,h)| = |R_n(\psi)| < \frac{6M}{\pi}\sum_{k=n+1}^{\infty}\frac{1}{k^2} < \frac{6M}{\pi}\,\frac{1}{n}.$$

D'autre part, il est évident que

$$|\psi(x) - f(x)| = \frac{1}{h}\left|\int_x^{x+h}(f(z) - f(x))\,dz\right| < hM.$$

Par conséquent,

$$|f(x) - S_n(x,h)| < M\left(\frac{6}{\pi n} + h\right).$$

Il importe de remarquer que *cette inegalité a lieu toujours, quels que soient l'entier n et la constante positive h, et que son second membre se décompose en deux termes, dont l'un ne dépend pas de h, l'autre ne dépend pas de n et s'annule pour h = 0.*

Soit n un entier quelconque *donné.*

Faisons h tendre vers zéro et passons à la limite.

On a, en tenant compte de l'hypothèse faite au sujet de la fonction $f(x)$,

$$\lim_{h=0} a_0' = a_0 = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} f(x)\,dx,$$

$$\lim_{h=0} a_k' = a_k = \frac{2}{\pi}\int_0^{\pi} f(x)\cos kx dx.$$

D'autre part, le nombre n étant un nombre fixe, on a

$$\lim_{h=0} \sum_{k=0}^{n} a_k' \cos kx = \sum_{k=0}^{n} \cos kx \lim_{h=0} a_k' = \sum_{k=0}^{n} a_k \cos kx.$$

Il s'ensuit que

$$\left| f(x) - \sum_{k=0}^{n} a_k \cos kx \right| < \frac{6M}{\pi n}.$$

On obtient ainsi ce théorème:

Théorème VI. *Toute fonction $f(x)$ appartenant à la famille C se représente, dans l'intervalle $(0, \pi)$, approximativement par la somme trigonométrique*

$$S_n(x) = \sum_{k=0}^{n} a_k \cos kx$$

avec une erreur absolue moindre que

$$\frac{6M}{\pi n}.$$

26. Soit maintenant $f(t)$ une fonction satisfaisant, dans l'intervalle $(-1, +1)$ à la condition

(43) $$f(t+h) - f(t) = h\theta(t, h),$$

$\theta(x, h)$ étant une fonction à variation bornée vérifiant les inégalités

(44) $$|\theta(t, h)| < M, \qquad T(h) < M,$$

$T(h)$ désignant sa variation totale dans l'intervalle $(-1, +1)$.

Remplaçons t par $\cos x$ et posons

$$F(x) = f(\cos x).$$

Faisant

$$t = \cos x, \qquad t + h' = \cos(x + h),$$

on trouve, en vertu de (43),

$$F(x+h) - F(x) = h'\theta(\cos x, h') = -2\sin\frac{h}{2}\,\theta(\cos x, h')\sin\left(x+\frac{h}{2}\right).$$

Posons

$$\theta_1(x,h) = -\theta(\cos x, h')\sin\left(x+\frac{h}{2}\right)$$

et désignons par $T_1(h)$ la variation totale de la fonction $\theta_1(x,h)$.

On a

$$\sum |\theta_1(x_k,h) - \theta_1(x_{k-1},h)| <$$
$$< \sum |\theta(\cos x_k, h') - \theta(\cos x_{k-1}, h')| + \sum |\theta(\cos x_{k-1}, h')|\,|x_k - x_{k-1}|.$$

Il s'ensuit, en vertu de (44), que

$$T_1(h) < M(1+2\pi) = N.$$

Donc, *la fonction*

$$F(x) = f(\cos x)$$

appartient à la famille C.

Appliquons maintenant le théorème VI à la fonction $F(x)$ et remplaçons ensuite $\cos x$ par x.

Les fonctions

$$\sqrt{\frac{1}{\pi}}, \qquad \cos kx\sqrt{\frac{2}{\pi}}$$

se ramènent aux polynomes de Tchébicheff $\varphi_k(x)$, les constantes a_k aux constantes

$$A_k = \int_{-1}^{+1} f(x)\varphi_k(x)\frac{dx}{\sqrt{1-x^2}},$$

la somme $S_n(x)$ au polynome de degré n

$$\Pi_n(x) = \sum_{k=0}^{n} A_k\varphi_k(x)$$

et le théorème VI au théorème suivant:

Théorème VII. *Toute fonction $f(x)$ appartenant à la famille C, c'est à dire toute fonction $f(x)$ satisfaisant à la condition*

$$f(x+h) - f(x) = h\theta(x,h), \qquad -1 \leqq x \leqq +1,$$

où $\theta(x,h)$ est une fonction dont le module et la variation totale ne surpassent pas un nombre fixe M, se représente, dans l'intervalle $(-1, +1)$, approximativement par le polynome $\Pi_n(x)$ avec une erreur absolue moindre que

$$\frac{6M}{\pi}\frac{1}{n}.$$

En se rappelant ce que nous avons dit plus haut (n[os] 12—20 et n° 24), on peut affirmer de plus *qu'il n'existe pas d'autres polynomes de même degré n qui puissent fournir, pour toutes les fonctions de la famille C, une approximation de l'ordre plus élevé que* $\frac{1}{n}$, de sorte que *les polynomes de la forme $\Pi_n(x)$ fournissent, pour les fonctions de la famille C, une approximation dont l'ordre est égal à celui de la meilleure approximation.*

27. La méthode, que nous venons d'exposer, s'étend sans difficulté au cas plus général.

Désignons par $\omega(h)$ *une fonction positive* de l'argument positif h.

Supposons que $\omega(h)$ *décroit avec h et qu'on ait*

$$\omega(h) < \varepsilon \quad pour \quad h < \delta,$$

où δ est un nombre positif donné à l'avance, ε est une quantité positive s'annulant avec δ.

Supposons que *la fonction $f(x)$ satisfasse à la condition*

$$f(x+h) - f(x) = \omega(h)\,\theta(x,h), \tag{44}$$

où $\theta(x,h)$ est une fonction à variation bornée dans l'intervalle $(0,\pi)$ telle qu'on ait

$$|\theta(x,h)| < M, \qquad T(h) < M, \tag{45}$$

$T(h)$ désignant la variation totale de $\theta(x,h)$ dans l'intervalle considéré, M désignant un nombre fixe ne dépendant ni de x, ni de h.

Nous allons appeler la famille de fonctions satisfaisant à ces conditions *famille D.*

Introduisons, en suivant la méthode du n° 25, la fonction auxiliaire

$$\psi(x) = \frac{1}{h}\int_x^{x+h} f(x)\,dx$$

et considérons l'intégrale

$$I_k = \int_0^\pi \psi(x) \cos kx dx.$$

On trouve, en vertu de (44),

$$I_k = -\frac{\omega(h)}{kh} J_k,$$

où, comme au n° 25,

$$|J_k| = \left| \int_0^\pi \theta(x, h) \sin kx dx \right| < \frac{3M}{k}$$

et

$$|a'_k| = \frac{2}{\pi} |I_k| < \frac{6M}{\pi k^2} \frac{\omega(h)}{h}, \qquad a'_k = \frac{2}{\pi} \int_0^\pi \psi(x) \cos kx dx.$$

Posant ensuite, comme au n° 25,

$$\psi(x) = \sum_{k=0}^{n} a'_k \cos kx + R_n(\psi),$$

on s'assure que

$$|R_n(\psi)| < \frac{6M}{\pi n} \frac{\omega(h)}{h}.$$

D'autre part, en tenant compte de (44) et (45) et de l'hypothèse faite au sujet de la fonction $\omega(h)$, on obtient

$$|f(x) - \psi(x)| = \frac{1}{h} \left| \int_x^{x+h} (f(z) - f(x)) dz \right| < M\omega(h).$$

On en conclut que

$$|f(x) - S_n(x, h)| < M\omega(h) \left(\frac{6}{\pi h n} + 1 \right),$$

où

$$S_n(x, h) = \sum_{k=0}^{n} a'_k \cos kx,$$

$$a'_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \psi(x) dx, \qquad a'_k = \frac{2}{\pi} \int_0^\pi \psi(x) \cos kx dx.$$

On arrive ainsi au théorème suivant:

Théorème VIII. *Toute fonction $f(x)$ de la famille D se représente, dans l'intervalle $(0, \pi)$, approximativement par la somme trigonométrique de l'ordre n*

$$S_n(x, h) = \sum_{k=0}^{n} a'_k \cos kx, \tag{46}$$

$$a'_0 = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} \psi(x)\,dx, \qquad a'_k = \frac{2}{\pi}\int_0^{\pi} \psi(x) \cos kx dx, \tag{47}$$

$$\psi(x) = \frac{1}{h}\int_x^{x+h} f(x)\,dx, \tag{48}$$

où h est une quantité positive arbitraire, avec une erreur moindre en valeur absolue que

$$\varepsilon = M\omega(h)\left(\frac{6}{\pi h n} + 1\right).$$

Si l'on pose

$$h = \frac{1}{\mu n},$$

μ étant un nombre plus grand que l'unité, on aura

$$\varepsilon = \omega\left(\frac{1}{\mu n}\right) M\left(\frac{6\mu}{\pi} + 1\right) = A\omega\left(\frac{1}{\mu n}\right),$$

A désignant un nombre fixe ne dépendant pas de n.

28. Si l'on pose, en particulier,

$$\omega(h) = h,$$

on retombe au cas étudié au n° 25.

Supposons ensuite que

$$\omega(h) = h^{\alpha}, \qquad 0 < \alpha < 1.$$

On aura

$$\varepsilon = Mh^{\alpha}\left(\frac{6}{\pi n h} + 1\right).$$

6*

La plus petite valeur de l'erreur ε correspond à

$$h = \frac{6(1-\alpha)}{\pi\alpha n}$$

et est égale à

$$\varepsilon = \frac{A}{n^\alpha}, \qquad A = M\left(\frac{6}{\alpha\pi}\right)^\alpha (1-\alpha)^{\alpha-1}.$$

Dans ce cas on a

$$|f(x) - S_n(x, h)| < \frac{A}{n^\alpha}.$$

Posons, enfin,

$$\omega(h) = \frac{1}{|\log h|}.$$

Faisant

$$h = \frac{1}{q},$$

on trouve

$$\varepsilon = \frac{M}{\log q}\left(\frac{6q}{\pi n} + 1\right).$$

Si l'on pose, par exemple,

$$q = n, \qquad h = \frac{1}{n},$$

on aura

$$\varepsilon = \frac{A}{\log n}, \qquad A = M\left(1 + \frac{6}{\pi}\right).$$

Pour obtenir la plus petite valeur de ε, il faut prendre pour q la racine positive de l'équation

$$q(\log q - 1) = \frac{\pi n}{6}.$$

Dans ce cas on trouve, en choisissant h de la manière tout à l'heure indiquée,

$$|f(x) - S_n(x, h)| < \frac{A}{\log n}.$$

29. Soit maintenant $f(t)$ une fonction de t satisfaisant aux conditions du n° 27 dans l'intervalle $(-1, +1)$.

Remplaçons t par $\cos x$ et formons la fonction auxiliaire

$$\psi(x) = \frac{1}{h}\int_{\cos x}^{\cos x + h} f(z)\,dz.$$

Cette fonction admet, dans l'intervalle $(0, \pi)$, la dérivée

$$\psi'(x) = -\frac{1}{h}\Big(f(\cos x + h) - f(\cos x)\Big)\sin x.$$

En se rappelant que

$$f(t+h) - f(t) = \omega(h)\,\theta(t, h),$$

on trouve

$$\psi'(x) = -\frac{\omega(h)}{h}\theta(\cos x, h)\sin x = \frac{\omega(h)}{h}\theta_1(x, h),$$

où

$$\theta_1(x, h) = -\theta(\cos x, h)\sin x$$

est, évidemment, une fonction s'annulant aux extrémités de l'intervalle $(0, \pi)$ et à variation bornée.

Désignons par $T(h)$ la variation totale de la fonction $\theta(t, h)$ dans l'intervalle $(-1, +1)$, où, ce qui est le même, la variation totale de $\theta(\cos x, h)$ dans l'intervalle $(0, \pi)$, par $T_1(h)$ la variation totale de $\theta_1(x, h)$ dans le même intervalle.

En remarquant que

$$|\theta(\cos x_k, h)\sin x_k - \theta(\cos x_{k-1}, h)\sin x_{k-1}| <$$
$$< |\theta(\cos x_k, h) - \theta(\cos x_{k-1}, h)| + |\theta(\cos x_{k-1}, h)|\,|x_k - x_{k-1}|,$$

où $x_k > x_{k-1}$ sont deux valeurs quelconques de x comprises entre 0 et π, on s'assure que

$$T_1(h) < T(h) + \pi M < M(1+\pi) = N,$$

car, d'après l'hypothèse faite,

$$T(h) < M, \qquad |\theta(\cos x_{k-1}, h)| < M.$$

En désignant maintenant par $N(x, h)$ et $P(x, h)$ les variations positive et négative de la fonction $\theta_1(x, h)$ dans l'intervalle $(0, x)$ et en se rappelant que $\theta_1(x, h)$ s'annule pour $x = 0$ et $x = \pi$, on peut poser

$$\theta_1(x, h) = N(x, h) - P(x, h),$$

$N(x, h)$ et $P(x, h)$ étant les fonctions positives croissantes et satisfaisant aux conditions

$$\begin{aligned} &N(0, h) - P(0, h) = 0, \\ &N(\pi, h) - P(\pi, h) = 0, \\ &N(x, h) + P(x, h) < N. \end{aligned} \tag{49}$$

30. Posons maintenant, comme au n° 27,

$$\psi(x) = \sum_{k=0}^{n} a'_k \cos kx + R_n(\psi),$$

où

$$R_n(\psi) = \sum_{k=n+1}^{\infty} a'_k \cos kx.$$

Répétant presque textuellement les raisonnements du n° 27, on s'assure, en tenant compte de (49), que

$$|\psi(x) - S_n(x, h)| = |R_n(\psi)| < \frac{4\omega(h)}{\pi h} N \sum_{k=n+1}^{\infty} \frac{1}{k^2} < \frac{4\omega(h)}{\pi h} \frac{N}{n}. \tag{50}$$

D'autre part,

$$\psi(x) - f(\cos x) = \frac{1}{h} \int_{\cos x}^{\cos x + h} \Big(f(z) - f(\cos x)\Big) dz = \frac{1}{h} \int_0^h \Big(f(\cos x + \xi) - f(\cos x)\Big) d\xi =$$

$$= \frac{1}{h} \int_0^h \omega(\xi)\, \theta(\cos x, \xi)\, d\xi.$$

On en conclut que

$$|\psi(x) - f(\cos x)| < M\omega(h).$$

Cette inégalité et celle de (50) conduisent à suivante

$$|f(\cos x) - S_n(x, h)| < M\omega(h)\left(\frac{4(1+\pi)}{\pi h n} + 1\right),$$

ayant lieu, quelle que soit la constante positive h.

Il suffit maintenant de remplacer $\cos x$ par x pour déduire de cette inégalité le théorème:

Théorème IX. *Toute fonction $f(x)$ de la famille D se représente, dans l'intervalle $(-1, +1)$, approximativement par le polynome de degré n*

$$P_n(x) = \sum_{k=0}^{n} A_k \varphi_k(x),$$

où

$$A_0 = \frac{1}{h\pi}\int_0^{\pi} dx \int_{\cos x}^{\cos x + h} f(z)\, dz,$$

$$A_k = \frac{2}{h\pi}\int_0^{\pi} dx \cos kx \int_{\cos x}^{\cos x + h} f(z)\, dz,$$

$\varphi_k(x)$ $(k = 0, 1, 2, \ldots, n)$ sont les polynomes de Tchébicheff, avec une erreur absolue moindre que

$$\varepsilon = M\omega(h)\left(\frac{4(1+\pi)}{\pi h n} + 1\right),$$

h étant une constante positive arbitraire.

31. Si l'on pose, en particulier,

$$h = \frac{1}{n}$$

et

$$\omega(h) = h,$$

on arrive au théorème analogue au théorème VII.

Pour toute fonction satisfaisant à la condition

$$f(x+h) - f(x) = h^{\alpha}\theta(x, h)$$

le polynome $P_n(x)$, où il faut poser $h = \frac{1}{n}$, fournira une approximation dont l'ordre est au moins égal à

$$\frac{A}{n^\alpha},$$

A étant un nombre ne dépendant pas de n.

Enfin, pour toute fonction satisfaisant à la condition

$$f(x+h) - f(x) = \frac{1}{|\log h|}\theta(x,h),$$

le même polynome fournira une approximation dont l'ordre est au moins égal à

$$\frac{A}{\log n}.$$

Les cas particuliers des conditions que nous venons de signaler sont analogues à celles de Lipschitz et de M. Dini.

32. Nous avons étudié jusqu'à présent les lois d'approximation par les polynomes $\Pi_n(x)$ et $P_n(x)$ (n° précédent) des fonctions continues satisfaisant à certaines conditions générales et n'admettant pas, en général, des dérivées dans l'intervalle considéré.

Il est évident à priori que l'existence des dérivées de la fonction, que nous voulons représenter approximativement par un polynome quelconque de degré donné n, doit élever essentiellement l'ordre d'approximation.

Sans étudier cette question dans toute sa généralité, indiquons une application simple de notre méthode à la détermination d'ordre d'approximation que fournissent les polynomes de la forme $\Pi_n(x)$ (n° 10) pour les fonctions dont les dérivées appartiennent à la famille C (n° 24).

33. Soit $f(t)$ une fonction admettant dans l'intervalle $(-1, +1)$ les dérivées successives jusqu'à l'ordre $p-1$.

Supposons que la dérivée de l'ordre quelconque $s < p$ satisfasse à la condition

$$f^{(s)}(t+h) - f^{(s)}(t) = h\,\theta_s(t,h), \tag{51}$$

où $h > 0$, $\theta_s(t,h)$ est une fonction vérifiant les inégalités

$$|\theta_s(t,h)| < M_s, \quad T_s(h) < M_s, \tag{52}$$

$T_s(h)$ désignant la variation totale de $\theta_s(t, h)$ dans l'intervalle $(-1, +1)$, M_s une constante ne dépendant ni de t, ni de h.

Ces conditions étant remplies pour une dérivée quelconque de l'ordre s, il en sera de même pour dérivée de l'ordre k inférieur à s.

Il suffit de s'en assurer pour $k = s - 1$.

En intégrant l'équation (51) par rapport à t entre les limites -1 et t, on obtient

$$f^{(s-1)}(t+h) - f^{(s-1)}(t) = f^{(s-1)}(-1+h) - f^{(s-1)}(-1) + h\int_{-1}^{t}\theta_s(t,h)\,dt,$$

d'où

$$f^{(s-1)}(t+h) - f^{(s-1)}(t) = h\left(f^{(s)}(-1+\theta h) + \int_{-1}^{t}\theta_s(t,h)\,dt\right) = h\theta_{s-1}(t,h),$$

θ désignant une quantité positive plus petite que l'unité.

Il suffit de supposer que $\theta_s(t, h)$ satisfasse à la première des inégalités (52), pour en déduire que la fonction

$$\theta_{s-1}(t,h) = f^{(s)}(-1+\theta h) + \int_{-1}^{t}\theta_s(t,h)\,dt$$

satisfait aux inégalités

$$|\theta_{s-1}(t,h)| < M_{s-1}, \quad T_{s-1}(h) < M_{s-1},$$

M_{s-1} désignant une constante fixe.

Formons maintenant la fonction

$$(52_1) \qquad \psi(x) = \frac{1}{h}\int_{\cos x}^{\cos x + h} f(x)\,dx,$$

x étant une variable comprise entre 0 et π et liée avec la variable t par la relation

$$\cos x = t.$$

La fonction $\psi(x)$ admet les dérivées jusqu'à l'ordre p; toutes les dérivées de l'ordre impair s'annulent pour $x = 0$ et $x = \pi$.

On a, quel que soit l'entier s,

$$(52_2)\qquad \psi^{(s)}(x) = \pm \theta_{s-1}(t,h)\sin^s x + \alpha_1 \theta_{s-2}(t,h) + \cdots + \alpha_{s-1}\theta_0(t,h),$$

où $\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{s-1}$ sont des fonctions rationnelles de $\sin x$ et $\cos x$.

On en conclut, en tenant compte de (52), que $\psi^{(s)}(x)$ est une fonction à variation bornée dans $(0, \pi)$ satisfaisant aux conditions

$$(53)\qquad |\psi^{(s)}(x)| < N_s, \qquad T_s'(h) < N_s,$$

$T_s'(h)$ désignant la variation totale de $\psi^{(s)}(x)$ dans l'intervalle considéré, N_s une constante positive ne dépendant ni de x, ni de h.

Ces inégalités ont lieu pour toutes les valeurs de s à partir de $s = 1$ jusqu'à $s = p$

Rappelons encore que $\psi(x)$ satisfait à la condition (voir n° 30)

$$(54)\qquad |\psi(x) - f(\cos x)| < Mh.$$

34. Posons maintenant, comme au n° 30,

$$\psi(x) = \sum_{k=0}^{n} a_k' \cos kx + R_n(\psi),$$

où, d'après le théorème C du n° 11,

$$R_n(\psi) = \sum_{k=n+1}^{\infty} a_k' \cos kx.$$

Considérons l'intégrale

$$I_k = \int_0^\pi \psi(x) \cos kx dx.$$

En se rappelant les propriétés de la fonction $\psi(x)$, indiquées au n° précédent, on s'assure, moyennant l'intégration par parties, que

$$I_k = \pm \frac{1}{k^p} J_k,$$

où

$$J_k = \int_0^\pi \psi^{(p)}(x) \sin kx dx, \quad \text{si } p \text{ est impair}$$

et

$$J_k = \int_0^\pi \psi^{(p)}(x) \cos kx dx, \quad \text{si } p \text{ est pair.}$$

On trouve, en tenant compte de (53), de la même manière qu'au n⁰ 25,

$$|J_k| < \frac{3M_p}{k},$$

quel que soit l'entier p.

Par conséquent,

$$|a'_k| = \frac{2}{\pi}|I_k| = \frac{2}{\pi k^p}|J_k| < \frac{6M_p}{\pi k^{p+1}}$$

et, par suite,

$$|\psi(x) - S_n(x,h)| = |R_n(\psi)| < \sum_{k=n+1}^{\infty} |a'_k| < \frac{6M_p}{\pi}\frac{1}{n^p},$$

où

$$S_n(x,h) = \sum_{k=0}^{n} a'_k \cos kx.$$

Il suffit maintenant de se rappeler l'inégalité (54), pour en déduire

$$|f(\cos x) - S_n(x,h)| < \frac{6M_p}{\pi}\frac{1}{n^p} + Mh.$$

De cette inégalité, ayant lieu quel que soit le nombre positif h, on tire, comme au n⁰ 25, la suivante:

$$|f(\cos x) - S_n(x)| < \frac{6M_p}{\pi}\frac{1}{n^p},$$

où

$$S_n(x) = \sum_{k=0}^{n} a_k \cos kx,$$

$$a_0 = \frac{1}{\pi}\int_0^\pi f(\cos x)\,dx, \qquad a_k = \frac{2}{\pi}\int_0^\pi f(\cos x)\cos kx dx.$$

Remplaçant, enfin, $\cos x$ par x, on obtient l'inégalité

$$|f(x) - \Pi_n(x)| < \frac{6M_p}{\pi}\frac{1}{n^p},$$

où $\Pi_n(x)$ est le polynome de degré n, défini par la formule (α) du nº 10.

On arrive ainsi au théorème:

Théorème X. *Toute fonction $f(x)$, dont la dérivée de l'ordre $p - 1$ est une fonction appartenant à la famille C, se représente, dans l'intervalle $(-1, +1)$, approximativement par le polynome $\Pi_n(x)$ avec une erreur absolue moindre que*

$$\varepsilon = \frac{6M_p}{\pi}\frac{1}{n^p},$$

M_p étant une constante ne dépendant que du nombre p et de la fonction $f(x)$ (ne dépendant pas de n).

35. Faisons encore quelques remarques sur l'ordre de la meilleure approximation des fonctions indéfiniment différentiables par les polynomes de degré n.

Je dois rappeler tout d'abord que cette question faisait l'objet des recherches de M. S. Bernstein qui a déduit, entre autres, l'inégalité

$$L_n(f) < \frac{2M_{n+1}}{\Gamma(n+2)}\frac{1}{2^n}, \tag{55}$$

$L_n(f)$ désignant le moindre écart du polynome de degré n de la fonction $f(x)$ dans l'intervalle $(-1, +1)$, M_{n+1} le maximum du module de $f^{(n+1)}(x)$ dans cet intervalle[1]).

Montrons, en profitant de l'occasion, que l'inégalité (20) du nº 11, dont nous avons déjà indiqué une application importante au nº 16, permet de compléter, d'une manière fort simple, le résultat tout à l'heure indiqué.

Reprenons l'inégalité (26) du nº 16

$$L_n(f) \geqq \sqrt{\frac{2}{\pi}}\sqrt{S_n(f)}, \tag{26}$$

---

[1]) «Sur l'ordre de la meilleure approximation des fonctions continues». Mémoires de l'Académie de Belgique 2 sér., T. IV, 1912, p. 65.

où [voir l'inégalité (24) du n° 16]

$$S_n(f) = \int_{-1}^{+1} (f(t) - P_n(t))^2 \frac{dt}{\sqrt{1-t^2}}.$$

On a, d'après le théorème de Tchébicheff,

$$S_n(f) = \frac{(f^{(n+1)}(\xi))^2}{\Gamma^2(n+2)\, a^2_{n+1}},$$

a_{n+1} étant le coefficient de x^{n+1} du polynome $\varphi_{n+1}(t)$, ξ étant un nombre compris entre -1 et $+1$.

En se rappelant que

$$1 = \int_{-1}^{+1} \varphi^2_{n+1}(t) \frac{dt}{\sqrt{1-t^2}} = \frac{\pi}{2^{2n+1}} a^2_{n+1},$$

on trouve

(55₁) $$S_n(f) = \frac{\pi}{2} \frac{A^2_{n+1}}{2^{2n}\Gamma^2(n+2)} < \frac{\pi}{2} \frac{M^2_{n+1}}{2^{2n}\Gamma^2(n+2)},$$

A_{n+1} désignant une constante comprise entre zéro et M_{n+1}.

Par conséquent, en vertu de (26),

(56) $$L_n(f) \geqq \frac{A_{n+1}}{2^n \Gamma(n+2)}.$$

Cette inégalité fournit une limite inférieure de l'écart $L_n(f)$ pour toute fonction satisfaisant à la condition

$$|f^{(n+1)}(x)| \leqq M_{n+1}.$$

Rapprochant l'inégalité (56) avec celle de (55), on trouve

(56₁) $$\frac{A_{n+1}}{2^n \Gamma(n+2)} \leqq L_n(f) \leqq \frac{2M_{n+1}}{2^n \Gamma(n+2)}.$$

Considérons maintenant une famille de fonctions renfermant toutes les fonctions assujetties aux conditions suivantes:

Les fonctions $f(x)$ admettent les dérivées continues jusqu'à l'ordre $n+1$ (au moins) vérifiant les inégalités

$$|f^{(k)}(x)| < M, \qquad (k = 0, 1, 2, \ldots, n+1)$$

M étant une constante positive donnée.

Les inégalités (56_1) s'appliquent à chaque fonction $f(x)$ appartenant à la famille considérée.

Prenons pour $f(x)$ une fonction dont la dérivée

$$f^{(n+1)}(x)$$

reste positive dans l'intervalle $(-1, +1)$ et satisfait aux conditions

$$N < f^{(n+1)}(x) < M,$$

N étant un nombre donné.

Dans ce cas

$$A_{n+1} > N$$

et l'inégalité (56_1) donne

$$L_n(f) > \frac{N}{2^n \Gamma(n+2)}.$$

D'autre part, on a, pour toute fonction $f(x)$ de la famille considérée,

$$L_n(f) < \frac{2M}{2^n \Gamma(n+2)}.$$

On en déduit, en se rappelant ce que nous avons dit au nº 14, ce théorème:

Théorème XI. *L'ordre de la meilleure approximation que puisse fournir un polynome de degré n pour une fonction $f(x)$, lorsqu'on sait seulement qu'elle appartient à la famille de fonctions admettant les dérivées continues jusqu'à l'ordre $n+1$ (au moins) satisfaisant aux conditions*

$$|f^{(k)}(x)| < M, \qquad (k = 0, 1, 2, \ldots, n+1)$$

est précisément égal à

$$\frac{1}{2^n \Gamma(n+2)}.$$

36. On voit que la détermination de l'ordre d'approximation des fonctions du n⁰ précédent par les polynomes s'écartant le moins possible de ces fonctions ne présente pas de grandes difficultés.

Malheureusement, nous n'avons aucun moyen pratique pour construire les polynomes mêmes, si l'on connaît seulement que la fonction à approcher admet les dérivées de divers ordres dans l'intervalle donné.

C'est pourquoi toutes les recherches sur *l'ordre* de meilleure approximation des fonctions continues par des polynomes, lorsque le polynome d'approximation reste entièrement inconnu et lorsque ces recherches ne poursuivent aucun autre but qu'à déterminer cet ordre, ne peuvent pas présenter un intérêt au point de vue de la théorie de la meilleure représentation des fonctions par des polynomes.

Mais les théorèmes analogues à celui de XI peuvent présenter un intérêt à un autre point de vue, à savoir, lorsqu'on reussit d'en tirer quelques conclusions sur le degré d'approximation que puisse fournir tel ou tel *polynome donné* et *bien déterminé*, par lequel nous avons besoin de remplacer approximativement une fonction donnée.

Nous avons déjà indiqué quelques exemples de cette espèce, lorsqu'il s'agissait des polynomes de M. D. Jackson ou des polynomes $\Pi_n(x)$, qui rendent minimum l'erreur moyenne quadratique, et des fonctions à approcher appartenant aux familles A, B et C.

Faisons maintenant quelques indications sur l'ordre d'approximation que fournit les polynomes de la forme $\Pi_n(x)$ pour les fonctions du n⁰ précédent et comparons cet ordre avec celui de la meilleure approximation, défini par le théorème XI.

Bien que nous ne pouvons pas arriver, dans le cas considéré, aux résultats si complèts qu'aux n^os 18 — 24, nous nous permettons néanmoins d'indiquer une méthode simple pour déterminer une limite supérieure de l'erreur qu'on commet en prenant pour l'expression approchée des fonctions, dont il s'agit, le polynome $\Pi_n(x)$.

Cette méthode mérite une attention par elle même, car elle s'applique non seulement au cas particulier que nous considérons ici, mais encore à plusieurs autres suites de fonctions orthogonales et permet de résoudre, en même temps, diverses questions qui se rattachent au problème du développement des fonctions arbitraires en séries procédant suivant les-dites fonctions.

37. Posons, pour simplifier l'écriture,

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{1-x^2}}, \qquad p_1(x) = \sqrt{1-x^2}$$

et désignons par

$$\varphi_0^{(1)}(x), \quad \varphi_1^{(1)}(x), \quad \varphi_2^{(1)}(x), \ldots, \quad \varphi_k^{(1)}(x), \ldots,$$

les polynomes de Jacobi correspondant à la fonction caractéristique $p_1(x)$.

Posons ensuite

$$f(x) = \Pi_n(x) + R_n(x). \tag{57}$$

On en tire, en tenant compte des propriétés connues des polynomes de Jacobi[1]),

$$f'(x) = \Pi_{n-1}^{(1)}(x) + R'_n(x),$$

où

$$\Pi_{n-1}^{(1)}(x) = \sum_{k=0}^{n-1} B_k \varphi_k^{(1)}(x),$$

$$B_k = \int_{-1}^{+1} p_1(x) f'(x) \varphi_k^{(1)}(x)\, dx. \qquad (k = 0, 1, 2, \ldots.)$$

Considérons l'intégrale

$$S_{n-1}^{(1)}(f') = \int_{-1}^{+1} p_1(x) R_n'^2(x)\, dx.$$

On trouve, moyennant le théorème de Tchébicheff,

$$S_{n-1}^{(1)}(f') = \frac{[f^{(n+1)}(\eta)]^2}{\Gamma^2(n+1)(a_n^{(1)})^2} < \frac{M^2_{n+1}}{\Gamma^2(n+1)(a_n^{(1)})^2}, \tag{58}$$

$a_n^{(1)}$ désignant le coefficient de x^n dans le polynome $\varphi_n^{(1)}(x)$, η désignant un nombre compris entre -1 et $+1$.

En remarquant que

$$1 = \int_{-1}^{+1} p_1(x) [\varphi_k^{(1)}(x)]^2\, dx = \frac{\pi}{2^{2n+1}} (a_n^{(1)})^2,$$

on obtient

$$S_{n-1}^{(1)}(f') = \frac{\pi (f^{(n+1)}(\eta))^2}{2^{2n+1}\Gamma^2(n+1)} < \frac{\pi M^2_{n+1}}{2^{2n+1}\Gamma^2(n+1)}. \tag{58}$$

---

[1]) Voir, par exemple, mon Mémoire: «Sur certaines égalités générales etc.». Mémoires de l'Académie des Sciences de St.-Pétersbourg 1904, vol. XV, nº 7, p. 21.

Désignons maintenant par ξ une valeur quelconque de x comprise entre -1 et $+1$ et envisageons l'identité

$$R_n^2(\xi) = R_n^2(x) - 2\int_\xi^x R_n(x)\,R_n'(x)\,dx. \tag{59}$$

En remarquant que

$$\left(\int_\xi^x R_n(x)\,R_n'(x)\,dx\right)^2 < \int_{-1}^{+1} \frac{R_n^{\,2}(x)}{\sqrt{1-x^2}}\,dx \cdot \int_{-1}^{+1} \sqrt{1-x^2}\,R_n'^{\,2}(x)\,dx = S_n(f)\,S_{n-1}^{(1)}(f),$$

on obtient, multipliant (59) par $\frac{dx}{p(x)}$ et intégrant le résultat entre les limites -1 et $+1$,

$$R_n^2(\xi) < \frac{1}{\pi}\,S_n(f) + 2\,\sqrt{S_n(f)}\,\sqrt{S_{n-1}^{(1)}(f')}.$$

De cette inégalité on tire, en tenant compte de (55_1) et (58),

$$|R_n(\xi)| < \rho\,\frac{M_{n+1}}{2^n\,\Gamma(n+1)\,\sqrt{n+1}} = \rho M_{n+1}\,\frac{\sqrt{n+1}}{2^n\,\Gamma(n+2)},$$

où l'on a posé

$$\rho^2 = \pi + \frac{1}{2(n+1)} < 3{,}392 \quad \text{pour} \quad n \geqq 1.$$

Si l'on désigne maintenant par

$$L_n'(f)$$

l'écart maximum du polynome $\Pi_n(x)$ de la fonction $f(x)$ dans l'intervalle $(-1, +1)$, on peut écrire

$$\frac{A_{n+1}}{2^n\,\Gamma(n+2)} < L_n'(f) < \rho M_{n+1}\,\frac{\sqrt{n+1}}{2^n\,\Gamma(n+2)}.$$

Ces inégalités montrent que l'ordre d'approximation que fournissent les polynomes de la forme $\Pi_n(x)$ pour les fonctions considérées est au moins égal à

$$\frac{\sqrt{n+1}}{2^n\,\Gamma(n+2)}.$$

L'ordre $\left(\text{par rapport à } \frac{1}{n}\right)$ de la limite supérieure trouvée de $L'_n(f)$ est donc inférieure à celui de la meilleure approximation (Théorème XI).

Nous ne pouvons pas affirmer que les polynomes de la forme $\Pi_n(x)$ fournissent, pour les fonctions admettant les dérivées continues jusqu'à l'ordre $n+1$ (ou moins), une approximation dont l'ordre est égal à celui de la meilleure approximation.

A ce point de vue le cas où l'on connait seulement que la fonction à approcher appartient à la famille C, définie au nº 24, conduit, comme nous l'avons déjà dit plus haut, aux résultats plus complèts.

38. Ce dernier cas mérite pour s'en arrêter, en passant, encore une fois.

Rappelons les propriétés fondamentales du polynome $\Pi_n(x)$ correspondant à une fonction quelconque de la famille C:

a) Le polynome $\Pi_n(x)$ représente la somme de $n+1$ premiers termes du développement de la fonction $f(x)$ en série uniformément convergente procédant suivant les polynomes $\varphi_k(x)$ de Tchébicheff à coefficients formés suivant la loi de Fourier.

b) Ce polynome rend, en même temps, minimum l'erreur moyenne quadratique qu'on commet en prenant ce polynome pour l'expression approchée de la fonction $f(x)$.

c) L'ordre d'approximation que fournit le polynome $\Pi_n(x)$, pour les fonctions de la famille considérée, est précisément égal à l'ordre de la meilleure approximation.

Il n'est pas sans intérêt d'y ajouter encore la remarque suivante.

Dans certains cas particuliers le polynome $\Pi_n(x)$ non seulement fournit une approximation de l'ordre de la meilleure approximation, mais coïncide, en effet, avec le polynome de degré n s'écartant le moins possible de la fonction $f(x)$.

Un tel exemple a été indiqué récemment par M. S. Bernstein (Communications de la Société Mathématique de Kharkow, T. XIII, 1912) qui a remarqué que cette circonstance a lieu pour la fonction de Weierstrass

$$f(x) = \sum a^k \cos b^k t = \sum a^k \varphi_k(x), \qquad x = \cos t, \tag{60}$$

si l'on suppose que b est un entier impair satisfaisant aux conditions

$$b^k \leqq n < b^{k+1}.$$

Sans entrer dans des détails sur ce sujet, remarquons seulement qu'il en sera de même pour toute fonction définie comme il suit:

Soit

$$a_0, \quad a_1, \quad a_2, \ldots, \quad a_n$$

une suite de $n+1$ nombres quelconques.

Soit

$$a_{n+1},\quad a_{n+2},\ldots\ldots,\quad a_{n+k},\ldots\ldots$$

une suite infinie de nombres positifs formant une série convergente.

Soit, enfin,

$$\lambda_{n+1},\quad \lambda_{n+2},\ldots\ldots,\quad \lambda_{n+k},\ldots\ldots$$

une suite de nombres entiers de la forme

$$\lambda_{n+k} = (n+1)\,p_k, \qquad (k = 1, 2, 3, \ldots)$$

p_k $(k = 1, 2, 3, \ldots)$ étant des entiers quelconques toujours impairs.

La série infinie

$$\sum_{k=0}^{n} a_k \cos kt + \sum_{k=1}^{\infty} a_{n+k} \cos \lambda_{n+k}\, t$$

converge uniformément (et absolument) dans l'intervalle $(0, \pi)$.

La série

$$f(x) = \sum_{k=0}^{n} a_k\, \varphi_k(x) + \sum_{k=1}^{\infty} a_{n+k}\, \varphi_{n+k}(x), \tag{61}$$

qui s'en déduit si l'on remplace la variable t par $\operatorname{arc}\cos x$, est aussi convergente dans l'intervalle $(-1, +1)$ et présente le développement d'une fonction, désignée par $f(x)$, en série procédant suivant les polynomes de Tchébicheff.

Il est évident que la différence

$$f(x) - \Pi_n(x)$$

atteint l'écart maximum, alternativement positif et négatif, non moins qu'à $n+2$ points de l'intervalle $(-1, +1)$, à savoir aux points

$$x_s = \cos\frac{s\pi}{n+1}, \qquad (s = 0, 1, 2, \ldots, n+1)$$

où elle prend les valeurs

$$(-1)^s \sum_{k=1}^{\infty} a_{n+k}.$$

Donc, $\Pi_n(x)$ *est un polynome de degré n s'écartant le moins possible, dans l'intervalle* $(-1, +1)$, *de la fonction* $f(x)$, *définie par la série* (61).

Si nous ajoutons encore la condition que non seulement la série

$$\sum_{k=1}^{\infty} a_{n+k}$$

mais encore la série

$$\sum_{k=1}^{\infty} a_{n+k}\, p_k^2$$

couverge, nous obtiendrons une infinité de fonctions appartenant à la famille C, pour chacune desquelles le polynome $\Pi_n(x)$ sera le polynome s'écartant le moins possible de cette fonction dans l'intervalle considéré.

La fonction (60) ne présente qu'un cas particulier de la fonction $f(x)$ définie par la série (61).

III.

39. Indiquons, enfin, une application simple de la théorie de fermeture à la solution de certaines questions ayant une connexion intime avec le *problème des moments* [problème (B) du nº 10].

Nous entendons par ce nom le problème suivant:

(B) *Soit* $f(x)$ *une fonction quelconque; les valeurs de* μ *intégrales*

$$\int_a^b x^k f(x)\,dx = a_k \qquad (k = 0, 1, 2, \ldots, \mu - 1)$$

étant données, trouver les limites inférieure et supérieure **précises** *de l'intégrale*

$$\int_a^x f(x)\,dx, \qquad a \leqq x \leqq b$$

à la seule condition que la fonction $f(x)$ *ne devient négative dans l'intervalle donné* (a, b).

Il faut rappeler que ce problème, dans un cas particulier, a été posé, pour la première fois, par Tchébicheff.

Les recherches, les plus importantes, qui ont conduit à généralisation et à solution des plusieurs questions qui s'y rattachent, appartiennent à M. A. Markoff ainsi qu'à Stieltjes et à Tchébicheff lui même.

Quelques contributions importantes à certains résultats de Tchébicheff ont été données ensuite (en 1892) par M. N. Sonine[1]).

L'exposition détaillée des méthodes de la solution du problème le lecteur peut trouver dans un bel ouvrage de M. K. Possé: «Sur quelques applications des fractions continues algébriques». (St.-Pétersbourg, 1886).

Le problème des moments est susceptible de plusieurs applications importantes; nous nous arrêtons à celle qui conduit à la solution de la question suivante:

(*C*). *Soient $f(x)$ et $f_1(x)$ deux fonctions quelconques; on sait seulement qu'elles restent non négatives dans l'intervalle donné (a, b) et satisfont à l'infinité d'équations:*

$$\alpha_k = \int_a^b x^k f(x)\,dx = \int_a^b x^k f_1(x)\,dx. \qquad (k=0, 1, 2, \ldots)$$

Peut on en conclure que

$$\int_a^x f(x)\,dx = \int_a^x f_1(x)\,dx$$

pour toute valeur de x comprise entre a et b [1])?

Il est aisé de comprendre que ce dernier problème peut être considéré comme un cas limite du problème des moments, lorsque le nombre μ devient infini, et qu'il est équivalent au problème suivant:

(*D*). *Les valeurs des intégrales*

$$\alpha_k = \int_a^b x^k f(x)\,dx \tag{62}$$

étant données pour toutes les valeurs de $k = 0, 1, 2, \ldots$, trouver la valeur de l'intégrale

$$\int_a^x f(x)\,dx$$

pour chaque valeur de x comprise entre a et b.

---

[1]) Voir à cet égard, par exemple, le Mémoire de M. A. Markoff: «Sur les valeurs limites des intégrales». Bulletin de l'Académie Imp. des Sciences de St.-Pétersbourg, T. II, № 3, mars 1895.

40. Le problème (C), à condition que les fonctions $f(x)$ et $f_1(x)$ ne deviennent jamais négatives dans (a, b), est complétement résolu par les recherches de M. A. Markoff et Stieltjes sous certaines hypothèses très générales.

On suppose seulement que les intégrales

$$\int_a^b x^k f(x)\, dx$$

existent, sans supposer que la fonction $f(x)$ soit nécessairement intégrable (au sens de Riemann) dans l'intervalle (a, b).

Nous allons montrer que *la solution d'une question analogue à* (C) [ou à celle de (D)] *résulte presqu'immédiatement de la définition même de fermeture des suites fermées de fonctions orthogonales.*

Nous avons en vue le problème suivant:

(E). *Soient* $f(x)$ *et* $f_1(x)$ *deux fonctions quelconques; on sait seulement qu'elles soient intégrables (au sens de Riemann ou même au sens de M. Lebesgue) dans l'intervalle donné* (a, b) *et satisfont à l'infinité d'équations*

$$\alpha_k = \int_a^b x^k f(x)\, dx = \int_a^b x^k f_1(x)\, dx.$$

Prouver qu'on a toujours, dans ces conditions,

$$\int_a^x f(x)\, dx = \int_a^x f_1(x)\, dx$$

pour chaque valeur de x *comprise entre* a *et* b.

Nous introduisons ainsi une condition restrictive sur l'intégrabilité des fonctions, ce qui amoindrit, sans doute, l'intérêt de la question, mais, en revanche, nous nous affranchons de l'autre restriction du problème (C) qui exige que les fonctions, dont il s'agit, ne changent pas leur signe dans l'intervalle donné.

C'est a cause de cette dernière circonstance, de la simplicité de la méthode et de sa liaison intime avec nos recherches précédentes que je me permets, en terminant ce travail, de faire quelques remarques relatives au problème (E) que nous venons d'énoncer.

41. Le problème (E) n'est qu'un cas particulier du suivant:

(E_1). *Soit*

$$\Phi_0(x), \quad \Phi_1(x), \ldots, \quad \Phi_k(x), \ldots \tag{63}$$

une suite fermée *de fonctions orthogonales (et normales) correspondant à la fonction caractéristique $p(x)$ et à l'intervalle donné (a, b).*

On sait seulement que $f(x)$ est une fonction intégrable dans (a, b) et satisfait à l'infinité d'équations

$$\alpha_k = \int_a^b p(x) f(x) \Phi_k(x) \, dx, \qquad (k = 0, 1, 2, \ldots) \tag{64}$$

α_k $(k = 0, 1, 2, \ldots)$ étant des constantes données.

Trouver la valeur de l'intégrale

$$\int_a^x p(x) f(x) \, dx$$ [1]

pour toute valeur de x appartenant à l'intervalle (a, b) [2].

Rappelons la condition nécessaire de la possibilité du problème: *les constantes α_k doivent être données de façon que la série*

$$\sum_{k=0}^{\infty} \alpha_k^2$$

soit convergente.

---

[1]) Plus généralement: de l'intégrale

$$\int_a^x p(x) f(x) \varphi(x) \, dx,$$

où $\varphi(x)$ est une fonction arbitrairement donnée, intégrable dans (a, b). C'est seulement pour plus de simplicité que nous posons $\varphi(x) = 1$.

[2]) Rappelons, en profitant de l'occasion, encore un problème dont la connexion intime avec le problème (E_1) est évidente.

C'est le problème de M-r Riesz-Fischer qui s'énonce comme il suit:

Trouver une fonction $f(x)$ intégrable dans l'intervalle donné (a, b) et satisfaisant à l'infinité d'équations

$$\alpha_k = \int_a^b p(x) f(x) \Phi_k(x) \, dx.$$

Cette condition étant remplie, *la solution du problème résulte tout de suite de l'hypothèse que la suite (63) soit fermée.*

Posons

$$f(x) = \sum_{k=0}^{n} A_k \Phi_k(x) + R_n(x),$$

$$A_k = \int_a^b p(x) f(x) \Phi_k(x)\, dx.$$

La suite (63) étant fermée, on trouve, en se rappelant les formules (14_1) et (14_2) du n° 11 du Chapitre précédent,

$$(64_1) \qquad \int_a^x p(x) f(x)\, dx = \sum_{k=0}^{\infty} A_k \int_a^x p(x) \Phi_k(x)\, dx,$$

d'où, en tenant compte des équations (64),

$$(65) \qquad \int_a^x p(x) f(x)\, dx = \sum_{k=0}^{\infty} \alpha_k \int_a^x p(x) \Phi_k(x)\, dx.$$

Cette formule fournit la solution du problème proposé.

42. On voit que *la condition nécessaire de la possibilité du problème* (E_1) *est en même temps suffisante.*

Soient maintenant

$$f(x) \qquad \text{et} \qquad f_1(x)$$

α_k étant des constantes données, $\Phi_k(x)$ étant une suite quelconque *de fonctions orthogonales et normales correspondant à la fonction caractéristique $p(x)$.*

Il est aisé de s'assurer que ce problème est entièrement équivalent au suivant:

Trouver une fonction $f(x)$ définie par l'équation

$$\int_a^x p(x) f(x)\, dx = \psi(x),$$

où $\psi(x)$ est une fonction connue, continue dans (a, b), définie par la formule

$$\psi(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \alpha_k \int_a^x p(x) \Phi_k(x)\, dx.$$

deux fonctions intégrables dans (a, b) et satisfaisant aux équations

$$\alpha_k = \int_a^b p(x) f(x) \Phi_k(x) dx = \int_a^b p(x) f_1(x) \Phi_k(x) dx,$$

α_k étant des constantes données sous la condition que la série

$$\sum_{k=0}^{\infty} \alpha_k^2$$

converge.

Posons

$$\varphi(x) = f(x) - f_1(x).$$

La fonction $\varphi(x)$ est intégrable dans (a, b) et satisfait à l'infinité d'équations

$$0 = \int_a^b p(x) \varphi(x) \Phi_k(x) dx. \qquad (k = 0, 1, 2, \ldots)$$

Nous avons ici un cas particulier du problème (E_1) où

$$a_k = 0. \qquad (k = 0, 1, 2, \ldots)$$

En appliquant au cas considéré la formule (65), on trouve, pour toute valeur de x appartenant à l'intervalle (a, b),

$$\int_a^x p(x) \varphi(x) dx = 0,$$

c'est à dire

$$\int_a^x p(x) f(x) dx = \int_a^x p(x) f_1(x) dx.$$

Cette formule démontre le théorème:

Théorème XII. *Si deux fonctions $f(x)$ et $f_1(x)$, intégrables dans (a, b), satisfont aux équations*

$$(66) \qquad \int_a^b p(x) f(x) \Phi_k(x) dx = \int_a^b p(x) f_1(x) \Phi_k(x) dx, \qquad (k = 0, 1, 2, \ldots)$$

$\Phi_k(x)$ $(k=0,\ 1,\ 2,\ldots)$ *désignant une suite fermée de fonctions orthogonales (et normales correspondant à la fonction caractéristique* $p(x)$, *on a toujours*

$$\int_a^x p(x) f(x)\,dx = \int_a^x p(x) f_1(x)\,dx,$$

quelle que soit la valeur de x *comprise dans* $(a,\ b)$.

43. La solution du problème (E) du n° 40 se déduit immédiatement comme un cas particulier du théorème XII.

Prenons, en effet, pour la suite $\Phi_k(x)(k=0,\ 1,\ 2,\ldots)$ la suite de polynomes de Tchébicheff correspondant à la fonction caractéristique

$$p(x) = 1.$$

On sait que *c'est une suite fermée.*

Le théorème XII s'applique donc aux polynomes considérés.

Les équations (66) se ramènent évidemment aux suivantes

$$\int_a^b x^k f(x)\,dx = \int_a^b x^k f_1(x)\,dx \qquad (k=0,1,2,\ldots) \tag{67}$$

et le théorème XII au suivant:

Théorème XIII. *Si deux fonctions* $f(x)$ *et* $f_1(x)$, *intégrables dans* $(a,\ b)$, *satisfont à l'infinité d'équations (67)*

$$\int_a^b x^k f(x)\,dx = \int_a^b x^k f_1(x)\,dx, \qquad (k=0,1,2,\ldots)$$

on a toujours

$$\int_a^x f(x)\,dx = \int_a^x f_1(x)\,dx, \tag{68}$$

quelle que soit la valeur de x *appartenant à l'intervalle* $(a,\ b)$

44. Les résultats précédents s'étendent à certains cas où l'une ou même toutes les deux des limites a et b deviennent infinies.

Cette circonstance aura, par exemple, lieu pour toute suite fermée de fonctions orthogonales et normales $\Phi_k(x)$ $(k = 0, 1, 2, \ldots)$, complètement déterminées dans les intervalles

(69) $$(a, +\infty)$$

ou

(70) $$(-\infty, +\infty),$$

pourvu qu'une fonction $f(x)$ satisfasse à la condition que les intégrales

$$\int_a^\infty p(x) f(x)\, dx \qquad \text{et} \qquad \int_a^\infty p(x) f^2(x)\, dx,$$

dans le premier cas [l'intervalle (69)], ou les intégrales

$$\int_{-\infty}^{+\infty} p(x) f(x)\, dx \qquad \text{et} \qquad \int_{-\infty}^{+\infty} p(x) f^2(x)\, dx,$$

dans le second cas [l'intervalle (70)], aient un sens bien déterminé.

On peut indiquer, pour un exemple, les polynomes de Tchébicheff, définis par les équations

(71) $$\int_a^\infty (x-a)^\beta e^{-\alpha(x-a)} \Phi_k(x) P_{k-1}(x)\, dx = 0, \qquad p(x) = (x-a)^\beta e^{-\alpha(x-a)}$$

et

(72) $$\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\alpha(x+\beta)^2} \Phi_k(x) P_{k-1}(x)\, dx = 0, \qquad p(x) = e^{-\alpha(x+\beta)^2}.$$

où $P_{k-1}(x)$ est un polynome arbitraire de degré $\leq k-1$, α, β et a sont des constantes données dont la première est positive, la seconde est plus grande que -1.

Moyennant ces polynomes on s'assure que *le théorème XIII* [l'équation (68)] *reste vrai pour les intervalles (69) et (70), si chacune des fonctions $f(x)$ et $f_1(x)$ satisfait aux conditions que nous venons de signaler.*

45. Nous n'avons considéré jusqu'à présent que les problèmes qui se rattachent au cas limite du problème fondamental (B), lorsque le nombre μ devient infini.

Faisons maintenant quelques remarques sur un problème analogue à celui des moments, en supposant que μ est un entier donné.

Le problème, que nous avons en vue, s'énonce comme il suit:

(F). *Soient $f(x)$ et $f_1(x)$ deux fonctions quelconques. On sait seulement qu'elles sont intégrables dans l'intervalle donné (a, b) et satisfont à μ équations*

$$\alpha_k = \int_a^b x^k f(x)\,dx = \int_a^b x^k f_1(x)\,dx, \qquad (k = 0, 1, 2, \ldots, \mu - 1)$$

α_k étant des constantes données.

Trouver une limite supérieure du module de la différence

$$\int_a^x f(x)\,dx - \int_a^x f_1(x)\,dx \tag{73}$$

pour chaque valeur de x comprise entre a et b.

Il est aisé de comprendre que ce problème peut être considéré comme équivalent au suivant:

(F_1). *Les fonctions $f(x)$ et $f_1(x)$ satisfont à μ conditions*

$$\alpha_k = \int_0^\pi f(x) \cos kx\,dx = \int_0^\pi f_1(x) \cos kx\,dx. \qquad (k = 0, 1, 2, \ldots, \mu - 1) \tag{74}$$

Trouver une limite supérieure du module de la différence (73).

C'est un problème dont le cas limite a été déjà signalé plus haut [Problème (A) du n° 5 du Chapitre I].

Nous obtiendrons une solution de ce problème en appliquant les formules du n° 11 à la suite fermée de fonctions

$$V_0(x) = \sqrt{\frac{1}{\pi}}, \qquad V_k(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cos kx \tag{75}$$

du n° 21 du Chapitre précédent.

Soit $f(x)$ une fonction quelconque, intégrable dans $(0, \pi)$ et satisfaisant à la condition

$$\int_0^\pi f^2(x)\,dx < M^2, \tag{76}$$

M étant une constante donnée.

Posons

$$f(x) = \sum_{k=0}^{n} a_k \cos kx + R_n(x),$$

a_k étant des constantes définies par les formules (29_1) du n° 21.

La suite (75) étant fermée, on trouve, en tenant compte des équations (15) et (15_1) du n° 11,

$$\int_\alpha^x f(x)\,dx = \sum_{k=0}^{n} a_k \int_\alpha^x \cos kx\,dx + T_n(f),$$

où

$$T_n(f) = \sum_{k=n+1}^{\infty} a_k \int_\alpha^x \cos kx\,dx = \sum_{k=n+1}^{\infty} a_k\,\frac{\sin kx - \sin k\alpha}{k},$$

α et x étant deux nombres compris entre 0 et π.

On en conclut que

$$|T_n(f)| < \sqrt{\sum_{k=n+1}^{\infty} a_k^2}\,\sqrt{\sum_{k=n+1}^{\infty} \frac{(\sin kx - \sin k\alpha)^2}{k^2}}.$$

Or, en vertu de (76),

$$\sum_{k=n+1}^{\infty} a_k^2 < \int_0^\pi f^2(x)\,dx < M^2$$

et

$$\sum_{k=n+1}^{\infty} \frac{(\sin kx - \sin k\alpha)^2}{k^2} < \frac{2}{n+1} < \frac{2}{n}.$$

Par conséquent,

$$|T_n(f)| < \frac{M\sqrt{2}}{\sqrt{n+1}}.$$

On arrive ainsi à l'inégalité

$$(77) \qquad \left|\int_\alpha^x f(x)\,dx - \sum_{k=0}^{n} a_k \int_\alpha^x \cos kx\,dx\right| < \sqrt{2}\,\frac{M}{\sqrt{n+1}},$$

ayant lieu quel que soit l'entier n.

46. Soient maintenant $f(x)$ et $f_1(x)$ deux fonctions intégrables dans $(0, \pi)$ et satisfaisant aux conditions

$$\int_0^\pi f^2(x)\,dx < M^2, \qquad \int_0^\pi f_1^2(x)\,dx < M^2.$$

Supposons encore qu'elles vérifient μ équations (74).

La fonction

$$\varphi(x) = f(x) - f_1(x)$$

satisfait à l'inégalité

$$\int_0^\pi \varphi^2(x)\,dx < 4M^2.$$

Appliquons à cette fonction l'inégalité (77).

En remarquant que, dans le cas considéré,

$$a_k = \frac{2}{\pi}\int_0^\pi \varphi(x)\cos kx\,dx = 0,$$

pour $k = 0, 1, 2, \ldots, \mu - 1$ [en vertu de (74)], on obtient

$$\left|\int_\alpha^x \varphi(x)\,dx\right| = \left|\int_\alpha^x f(x)\,dx - \int_\alpha^x f_1(x)\,dx\right| < \sqrt{2}\,\frac{2M}{\sqrt{\mu}},$$

car $\mu = n + 1$.

Cette inégalité fournit une solution du problème (F_1) et conduit au théorème:

Théorème XIV. *Soient $f(x)$ et $f_1(x)$ deux fonctions quelconques. On sait seulement qu'elles sont intégrables dans l'intervalle $(0, \pi)$ et satisfont aux conditions*

(78) $$\int_0^\pi f^2(x)\,dx < M^2, \qquad \int_0^\pi f_1^2(x)\,dx < M^2,$$

M étant une constante donnée.

Si ces fonctions satisfont encore à μ équations de la forme

$$\int_0^\pi f(x)\cos kx\,dx = \int_0^\pi f_1(x)\cos kx\,dx, \qquad (k = 0, 1, 2, \ldots, \mu - 1)$$

le module de la différence

$$\int_\alpha^x f(x)\,dx - \int_\alpha^x f_1(x)\,dx$$

ne surpasse jamais le nombre

$$\sqrt{2}\,\frac{2M}{\sqrt{\mu}},$$

quelle que soit la valeur de x comprise entre 0 et π.

Si nous supposons que μ tende vers l'infini, nous en déduirons, comme un cas limite, le théorème XII pour le cas particulier des fonctions

$$\Phi_0(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}}, \qquad \Phi_k(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\cos kx. \qquad (k = 1, 2, 3, \ldots)$$

47. Désignons maintenant par $\varphi(t)$ une fonction intégrable dans l'intervalle $(-1, +1)$ et supposons que

(79) $$\int_{-1}^{+1} \varphi^2(t)\,dt < M^2,$$

M désignant, comme précédemment, une constante donnée.

Envisageons la fonction

(80) $$f(x) = \varphi(\cos x)\sin x.$$

C'est une fonction intégrable dans l'intervalle $(0, \pi)$.

D'autre part, en remplaçant $\cos x$ par t, on trouve

$$\int_0^\pi f^2(x)\,dx = \int_0^\pi \varphi^2(\cos x)\sin^2 x dx < \int_0^\pi \varphi^2(\cos x)\sin x dx = \int_{-1}^{+1} \varphi^2(t)\,dt,$$

d'où, en vertu de (79),

$$\int_0^\pi f^2(x)\,dx < M^2.$$

Soit $\psi(t)$ une autre fonction de même espèce que $\varphi(t)$.

Posant

$$(80_1) \qquad f_1(x) = \psi(\cos x)\sin x,$$

on obtient une autre fonction satisfaisant, en même temps que $f(x)$, aux conditions (78) du théorème XIV.

Supposons maintenant que les fonctions $\varphi(x)$ et $\varphi_1(x)$ satisfassent à μ équations de la forme

$$\int_{-1}^{+1} \varphi(t)\varphi_k(t)\,dt = \int_{-1}^{+1} \psi(t)\varphi_k(t)\,dt, \qquad (k = 0, 1, 2, \ldots, \mu - 1)$$

$\varphi_k(t)$ étant les polynomes de Tchébicheff correspondant à la fonction caractéristique

$$p(t) = \frac{1}{\sqrt{1-t^2}}.$$

Remplaçant la variable t par $\cos x$, on obtient les équations suivantes

$$\int_0^\pi \varphi(\cos x)\sin x \cos kx dx = \int_0^\pi \psi(\cos x)\sin x\cos kx dx,$$

ou, en vertu de (80) et (80_1),

$$\int_0^\pi f(x)\cos kx dx = \int_0^\pi f_1(x)\cos kx dx.$$

On voit que les fonctions $f(x)$ et $f_1(x)$ satisfont à toutes les conditions du théorème XIV.

Par conséquent,

$$\left|\int_\alpha^x f(x)\,dx - \int_\alpha^x f_1(x)\,dx\right| < 2\sqrt{2}\,\frac{M}{\sqrt{\mu}}. \tag{81}$$

Remplaçant dans cette inégalité $f(x)$ et $f_1(x)$ par leurs expressions (80) et (80_1) et en introduisant, au lieu de la variable x, la nouvelle variable t par la relation

$$\cos x = t,$$

on transforme l'inégalité (81) en suivante

$$\left|\int_\beta^t \varphi(t)\,dt - \int_\beta^t \psi(t)\,dt\right| < 2\sqrt{2}\,\frac{M}{\sqrt{\mu}},$$

β étant un nombre compris entre -1 et $+1$.

L'analyse précédente conduit à ce théorème:

Théorème XV. *Soient $f(x)$ et $f_1(x)$ deux fonctions quelconques. On sait seulement qu'elles sont intégrables dans l'intérvalle $(-1, +1)$ et satisfont aux inégalités*

$$\int_{-1}^{+1} f^2(x)\,dx < M^2, \qquad \int_{-1}^{+1} f_1^2(x)\,dx < M^2$$

et à μ équations

$$\alpha_k = \int_{-1}^{+1} x^k f(x)\,dx = \int_{-1}^{+1} x^k f_1(x)\,dx. \qquad (k = 0, 1, 2, \ldots, \mu - 1)$$

Ces conditions étant remplies, on a toujours

$$\left|\int_\alpha^x f(x)\,dx - \int_\alpha^x f_1(x)\,dx\right| < 2\sqrt{2}\,\frac{M}{\sqrt{\mu}}.$$

Ce théorème résout le problème (F).

48. On peut considérer ce Chapitre comme une addition aux n^{os} 16—18 du Chapitre I de mon Mémoire: «Sur la théorie de fermeture etc.», où nous avons indiqué quelques applications de cette théorie.

Rappelons, par exemple, celles qui conduisent aux théorèmes généralisés de Weierstrass et de Liouville-Stieltjes (loc. cit. pp. 24—31).

Les théorèmes classiques, que nous venons de mentionner, se déduisent immédiatement de la formule (64_1) de ce Chapitre, si l'on ajoute seulement quelques hypothèses complèmentaires au sujet des fonctions $p(x)$ et $f(x)$ ainsi qu'au sujet des limites a et x des intégrales qui y entrent.

Ici, nous avons des applications nouvelles et plus générales de la même théorie.

La méthode, toujours la même, que nous avons suivre, met ainsi en évidence une liaison intime entre tous ces problèmes, dont elle fournit en même temps une solution simple, et les reunit dans une seule théorie, à savoir dans la théorie de fermeture des systèmes de fonctions orthogonales.

Цѣна 90 коп.; Prix 2 Mrk.

Продается въ Книжномъ Складѣ Императорской Академіи Наукъ и у ея коммиссіонеровъ:
И. И. Глазунова и К. Л. Риккера въ С.-Петербургѣ, Н. П. Карбасникова въ С.-Петерб., Москвѣ, Варшавѣ и Вильнѣ, Н. Н. Оглоблина въ С.-Петербургѣ и Кіевѣ, Н. Киммеля въ Ригѣ, Фоссъ (Г. В. Зоргенфрей) въ Лейпцигѣ, Люзакъ и Комп. въ Лондонѣ.

Commissionnaires de l'Académie Impériale des Sciences:
J. Glasounof et C. Ricker à St.-Pétersbourg, N. Karbasnikof à St.-Pétersbourg, Moscou, Varsovie et Vilna, N. Oglobline à St.-Pétersbourg et Kief, N. Kymmel à Riga, Voss' Sortiment (G. W. Sorgenfrey) à Leipsic, Luzac & Cie à Londres.

ЗАПИСКИ ИМПЕРАТОРСКОЙ АКАДЕМІИ НАУКЪ.

MÉMOIRES

DE L'ACADÉMIE IMPÉRIALE DES SCIENCES DE ST.-PÉTERSBOURG.

VIII^e SÉRIE.

ПО ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОМУ ОТДѢЛЕНІЮ. CLASSE PHYSICO-MATHÉMATIQUE.

Томъ XXXII. № 5 и послѣдній. Volume XXXII. № 5 et dernier.

НАИБОЛЬШІЯ ОТКЛОНЕНІЯ

СРЕДНИХЪ МѢСЯЧНЫХЪ ТЕМПЕРАТУРЪ

ВЪ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССІИ

ОТЪ НОРМАЛЬНЫХЪ ВЕЛИЧИНЪ ЗА ПЕРІОДЪ СЪ 1870 ПО 1910 ГГ.

СЪ ПРИЛОЖЕНІЕМЪ 6 ЦИФРОВЫХЪ ТАБЛИЦЪ И 26 КАРТЪ.

А. Шенрокъ.

(Доложено въ засѣданіи Физико-Математическаго Отдѣленія 5 декабря 1912 г.).

С.-ПЕТЕРБУРГЪ. 1914. ST.-PÉTERSBOURG.






ЗАПИСКИ ИМПЕРАТОРСКОЙ АКАДЕМІИ НАУКЪ.
MÉMOIRES
DE L'ACADÉMIE IMPÉRIALE DES SCIENCES DE ST.-PÉTERSBOURG.
VIIIᵉ SÉRIE.
ПО ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОМУ ОТДѢЛЕНІЮ. CLASSE PHYSICO-MATHÉMATIQUE.
Томъ XXXII. № 5 и послѣдній. Volume XXXII. № 5 et dernier.

НАИБОЛЬШІЯ ОТКЛОНЕНІЯ

СРЕДНИХЪ МѢСЯЧНЫХЪ ТЕМПЕРАТУРЪ

ВЪ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССІИ

ОТЪ НОРМАЛЬНЫХЪ ВЕЛИЧИНЪ ЗА ПЕРІОДЪ СЪ 1870 ПО 1910 ГГ.

СЪ ПРИЛОЖЕНІЕМЪ 6 ЦИФРОВЫХЪ ТАБЛИЦЪ И 26 КАРТЪ.

А. Шенрокъ.

(Доложено въ засѣданіи Физико-Математическаго Отдѣленія 5 декабря 1912 г.).

С.-ПЕТЕРБУРГЪ. 1914. ST.-PÉTERSBOURG.

Напечатано по распоряженію Императорской Академіи Наукъ.
С.-Петербургъ, Мартъ 1914 г. Непремѣнный Секретарь, Академикъ *С. Ольденбургъ.*

ТИПОГРАФІЯ ИМПЕРАТОРСКОЙ АКАДЕМІИ НАУКЪ.
Вас. Остр., 9 лин., № 12.

При составленіи ежемѣсячныхъ обзоровъ погоды намъ приходится обращать вниманіе главнымъ образомъ на аномаліи[1]) погоды, т. е. на отклоненія данныхъ наблюденій или выводовъ изъ нихъ отъ такъ называемыхъ нормальныхъ величинъ. Эти отклоненія достигаютъ весьма различной величины, распространяются на болѣе или менѣе большой районъ и удерживаются болѣе или менѣе продолжительное время; поэтому, для характеристики погоды весьма важно имѣть какой нибудь масштабъ для опредѣленія интенсивности, обширности и устойчивости данной аномаліи.

Выборъ признака аномаліи зависитъ какъ отъ матеріала наблюденій, имѣющагося въ нашемъ распоряженіи, такъ и отъ метеорологическаго явленія, съ которымъ мы имѣемъ дѣло. Для перваго подобнаго изслѣдованія мы остановились на термическихъ аномаліяхъ, спеціально на интенсивности ихъ, такъ какъ этотъ факторъ легче поддается изслѣдованію, чѣмъ напримѣръ продолжительность или интенсивность аномаліи осадковъ.

Для опредѣленія интенсивности термической аномаліи можно установить различные масштабы, напримѣръ вѣроятность аномаліи данной величины и даннаго знака, или наибольшая, наблюдавшаяся до сихъ поръ аномалія. Я остановился на послѣднемъ масштабѣ, такъ какъ онъ легче поддается опредѣленію, но и его установленіе, какъ мы увидимъ ниже, представляетъ извѣстныя трудности.

Разсуждая чисто теоретически, наибольшую аномалію въ выше указанномъ смыслѣ можно получить только изъ безконечнаго ряда наблюденій, но практически можно ограничиться очень длиннымъ рядомъ, такъ какъ величину аномаліи, достигнутую лишь одинъ разъ на протяженіи напримѣръ 100 лѣтъ, слѣдуетъ уже признать необычайно рѣдкой и большой, и превышеніе подобной аномаліи является мало вѣроятнымъ.

Къ сожалѣнію у насъ имѣются лишь три станціи (С.-Петербургъ, Москва, Варшава) съ рядомъ наблюденій, обнимающимъ болѣе 100 лѣтъ. Но и менѣе продолжительныхъ рядовъ, напримѣръ въ 50 лѣтъ, у насъ тоже еще очень мало, а такъ какъ мы намѣтили задачу, опредѣлить крайнія термическія аномаліи для Европейской Россіи и представить ихъ картографически, то пришлось идти на компромиссъ. По разнымъ соображеніямъ мы остановились на періодѣ въ 41 годъ съ 1870 по 1910 годъ, главнымъ образомъ потому, что съ

1) Лишь для краткости я здѣсь пользуюсь выраженіемъ «аномалія» вмѣсто «отклоненія отъ нормы», а не въ томъ смыслѣ, какъ это понятіе обыкновенно употребляется въ метеорологіи, спеціально относительно температуры.

1870 года начинаются болѣе точныя наблюденія температуры по провѣреннымъ термометрамъ въ болѣе хорошей установкѣ и согласно новой, подробной инструкціи. Къ тому же такой промежутокъ времени соотвѣтствуетъ приблизительно тому, на который въ обыденной жизни ссылаются старожилы. Впрочемъ ниже мы увидимъ, что установленныя на основаніи этого періода нормы наибольшихъ аномалій уже очень близко подходятъ къ многолѣтнимъ и лишь мало и не всегда измѣняются даже наблюденіями, производившимися болѣе 150 лѣтъ.

Мы воспользовались наблюденіями слѣдующихъ станцій:

Улеаборгъ	Рига	Лугансkъ
Куопіо	Виндава	Кіевъ
Таммерфорсъ	Либава	Елизаветградъ
Гельсингфорсъ	Вильна	Одесса
Сердоболь	Варшава	Николаевъ
Кемь	Москва	Севастополь
Петрозаводскъ	Архангельскъ	Ставрополь
С.-Петербургъ	Вятка	Тифлисъ
Ревель	Екатеринбургъ	Баку
Перновъ	Казань	
Юрьевъ	Астрахань	

Такимъ образомъ въ нашемъ распоряженіи имѣлись всего 31 станція, причемъ у нѣкоторыхъ ряды оказались не полными, съ нѣсколькими пропусками, хотя и не большими.

Для всѣхъ этихъ станцій были выписаны изъ лѣтописей наибольшія и наименьшія за весь указанный періодъ мѣсячныя и годовыя среднія[1]) и вычислены соотвѣтственныя отклоненія ихъ отъ нормальныхъ среднихъ. Такимъ образомъ мы получили для приведенныхъ станцій наибольшія положительныя и отрицательныя отклоненія средней температуры начиная съ 1870 и до 1910 года.

Конечно 31 станціи для всей Европейской Россіи съ Финляндіей и Кавказомъ слишкомъ мало, тѣмъ болѣе, что онѣ расположены крайне неравномѣрно. Такъ, напримѣръ, 13 станцій, т. е. почти $1/3$ всего числа ихъ, находятся на западѣ, въ районѣ Балтійскаго моря и озеръ, 5 станцій на югозападѣ, а на восточную Россію приходится лишь 3 станціи и на весь центръ лишь одна — Москва; во всей полосѣ къ востоку отъ Кіева между 49° и 56° широты не имѣется ни одной станціи. При такомъ расположеніи станцій, конечно, нельзя и думать о картографическомъ изображеніи наибольшихъ аномалій.

1) Въ концѣ статьи мы помѣстили таблицы (I и II) наибольшихъ и наименьшихъ среднихъ мѣсячныхъ и годовой температуръ съ указаніемъ годовъ, когда онѣ получились. Кромѣ того мы даемъ еще таблицы (III и IV) наибольшихъ и наименьшихъ среднихъ за весь періодъ наблюденій и таблицы наибольшихъ положительныхъ и отрицательныхъ отклоненій отъ нормы за періодъ съ 1870 по 1910 годъ (V и VI). Послѣднія послужили основаніемъ для составленія нашихъ картъ.

Къ счастью мы имѣемъ возможность пополнить указанные пробѣлы, болѣе или менѣе надежно, смотря по годамъ, на которые приходятся аномаліи. Извѣстно, что тѣ или другія термическія условія, въ нашемъ случаѣ отклоненія температуры, обыкновенно наблюдаются на нѣсколькихъ сосѣднихъ станціяхъ, или охватываютъ одновременно болѣе или менѣе обширные районы. Этимъ установленнымъ фактомъ метеорологи пользуются, между прочимъ, для приведенія короткихъ рядовъ наблюденій къ многолѣтнимъ; онъ позволяетъ также интерполировать недостающія наблюденія. Это явленіе мы замѣчаемъ относительно и нашихъ данныхъ, т. е. самыхъ высокихъ и самыхъ низкихъ среднихъ температуръ.

Достаточно указать, что въ 1877 году 13 изъ приведенныхъ станцій наблюдали максимальную среднюю въ ноябрѣ, что на 12 станціяхъ 1897 годъ отличался наиболѣе теплымъ маемъ, а 1893 годъ на 18 станціяхъ — наиболѣе холоднымъ январемъ и т. д. При этомъ всѣ эти станціи располагались каждый разъ не случайно, а находились въ одной опредѣленной области, напримѣръ въ первомъ случаѣ всѣ 13 станцій находились на сѣверозападѣ, во второмъ — въ сѣверной половинѣ Россіи, а въ третьемъ случаѣ аномалія распространилась почти на всю Россію, кромѣ сѣверной и южной окраинъ.

Этой особенностью метеорологическихъ явленій мы воспользовались слѣдующимъ образомъ для нашихъ цѣлей, чтобы пополнить недостаточное число станцій. Для даннаго мѣсяца мы наносили на карту для каждой станціи годъ, когда тамъ наблюдалась наибольшая аномалія даннаго знака; такимъ образомъ на картѣ выдѣлялись области одновременнаго наступленія максимальной аномаліи. Возьмемъ для поясненія какой нибудь конкретный случай, напримѣръ отрицательную аномалію марта. Составленная указаннымъ образомъ карта показала, что особенно холодный мартъ наблюдался на сѣверозападѣ въ 1888 г., на сѣверѣ — въ 1899 г., на западѣ — въ 1886 г., на югозападѣ и на югѣ — въ 1875 г., а въ остальной большой области, охватывающей среднія, восточныя и юговосточныя губерніи — въ 1898 г. Для каждой изъ указанныхъ областей мы выбирали изъ лѣтописей соотвѣтствующаго года для нѣсколькихъ станцій среднюю мартовскую температуру и заносили въ таблицу. Для пограничныхъ районовъ двухъ областей пришлось, конечно, справляться по лѣтописямъ обоихъ а иногда и трехъ и болѣе относящихся годовъ; такъ, напримѣръ, для Полѣсья пришлось пользоваться наблюденіями за 1875, 1886, 1888 и 1898 гг., чтобы для каждой станціи опредѣлить, на который изъ этихъ годовъ приходится самый холодный мартъ. Относительно 1875 года это представляло, однако, нѣкоторое затрудненіе, такъ какъ въ этомъ году было еще сравнительно мало станцій, вслѣдствіе чего для многихъ станцій, существовавшихъ въ 80-хъ и тѣмъ болѣе въ 90-хъ годахъ, не имѣлось наблюденій за 1875 годъ. Во всѣхъ подобныхъ случаяхъ мы поступали слѣдующимъ образомъ. По имѣющимся наблюденіямъ мы проводили въ изслѣдуемой области за каждый изъ обозначенныхъ на картѣ годовъ изотермы даннаго мѣсяца и по этимъ изотермамъ опредѣляли, къ какой эпохѣ слѣдуетъ отнести извѣстную станцію, и въ случаѣ, если ее приходилось отнести къ болѣе ранней эпохѣ, а наблюденія тогда тамъ еще не производились, то мы по этимъ изотермамъ и интерполировали для соотвѣтствующей станціи недостающія данныя. При этомъ

необходимо оговорить слѣдующее. Такъ какъ насъ интересовалъ главнымъ образомъ вопросъ объ аномаліяхъ, т. е. объ отклоненіяхъ отъ нормы, то мы могли пользоваться наблюденіями только тѣхъ станцій, для которыхъ имѣлись нормальныя температуры. Въ свое время, при составленіи климатологическаго атласа Россійской Имперіи, Ѳ. В. Штеллингъ вычислилъ для цѣлаго ряда станцій нормальныя температуры и сопоставилъ ихъ въ таблицѣ. Съ его любезнаго разрѣшенія мы и воспользовались этой таблицей, причемъ было обращено должное вниманіе на то, что къ этимъ даннымъ была уже придана поправка на суточный ходъ, тогда какъ взятыя изъ лѣтописей величины были не исправлены. На основаніи всѣхъ этихъ данныхъ были вычислены наибольшія отклоненія среднихъ температуръ за всѣ мѣсяцы и нанесены на карты того же образца, что служитъ для составленія картъ ежемѣсячнаго бюллетеня. На этихъ картахъ мы провели затѣмъ линіи одинаковыхъ наибольшихъ отклоненій.

Построеніе такихъ картъ имѣетъ, главнымъ образомъ, практическое значеніе и предназначалось для пользованія ими при составленіи обзоровъ погоды.

Намъ казалось, однако, желательнымъ опубликовать эти карты, чтобы ихъ сдѣлать доступными для бо́льшого круга лицъ, которые могутъ ими пользоваться совмѣстно съ картами ежемѣсячныхъ бюллетеней для различныхъ практическихъ вопросовъ. Чтобы удешивить изданіе и сдѣлать его болѣе удобнымъ, мы перечертили оригиналы кривыхъ на карты меньшаго размѣра, которыя и прилагаются въ концѣ этой работы въ числѣ 26, по 2 за каждый мѣсяцъ и за годъ.

При разсмотрѣніи этихъ картъ мы видимъ, что въ общихъ чертахъ отрицательныя отклоненія болѣе положительныхъ, и что какъ тѣ, такъ и другія достигаютъ наибольшаго значенія зимою и къ лѣту уменьшаются, за исключеніемъ мая, о которомъ болѣе подробно мы поговоримъ ниже.

Такимъ образомъ и нашими данными подтверждается общеизвѣстный въ метеорологіи фактъ, что отрицательныя отклоненія температуры отъ нормы вообще болѣе положительныхъ, и что зимою измѣнчивость температуры болѣе, чѣмъ лѣтомъ.

Вообще же слѣдуетъ отмѣтить довольно большую неправильность кривыхъ на нашихъ картахъ, которой трудно найти объясненіе. Она какъ бы указываетъ на то, что за взятый нами періодъ еще во многихъ мѣстахъ не достигнуты предѣльныя величины, особенно въ тѣхъ районахъ и за тѣ мѣсяцы, гдѣ встрѣчаются наибольшія неправильности. Если это предположеніе основательно, то въ такихъ случаяхъ можно въ будущемъ съ наибольшею вѣроятностью ожидать перехода среднихъ температуръ за установленные нами предѣлы.

Чтобы провѣрить это предположеніе мы можемъ вмѣсто того, чтобы ждать отвѣта въ будущемъ, справиться въ прошломъ. Для этой цѣли мы выбрали для 8 станцій съ болѣе продолжительными и надежными рядами наблюденій наибольшія и наименьшія мѣсячныя среднія температуры за весь періодъ и сравнили ихъ съ соотвѣтственными данными за нашъ 41-лѣтній періодъ. При этомъ мы старались выбрать станціи такъ, чтобы онѣ располагались по возможности равномѣрно во всѣхъ областяхъ всей изслѣдуемой площади, что

очень важно, такъ какъ иначе можно получить невѣрные выводы. Но чтобы дать читателю представленіе, какія отклоненія встрѣчались за прежніе годы, до 1870, мы выписали крайнія среднія за все время наблюденій для большинства станцій и сопоставили ихъ въ помѣщенныхъ въ концѣ этой статьи таблицахъ, съ обозначеніемъ года, когда получилась соотвѣтственная средняя температура. Въ нижеслѣдующей же таблицѣ мы даемъ для выбранныхъ 8 станцій за каждый мѣсяцъ величину, на которую измѣняются наши крайнія среднія, если принять въ разсчетъ весь долголѣтній рядъ наблюденій, не ограничиваясь 70-мъ годомъ. Въ первой строкѣ мы даемъ измѣненія максимальныхъ среднихъ, во второй — минимальныхъ среднихъ. Числа въ скобкахъ около названій станцій обозначаютъ округленное число лѣтъ полнаго періода[1]).

		Январь.	Февраль.	Мартъ.	Апрѣль.	Май.	Іюнь.	Іюль.	Августъ.	Сентябрь.	Октябрь.	Ноябрь.	Декабрь.
Архангельскъ (97)	максимумъ	0.0	0.4	3.7	0.9	0.0	2.0	0.3	0.5	3.4	0.8	0.0	0.6
	минимумъ	—2.7	0.0	0.0	—1.0	—2.1	—0.1	1.8	0.0	0.0	0.0	—0.8	—0.1
С.-Петербургъ (159)	максимумъ	0.0	1.4	1.2	1.4	0.0	1.7	2.5	0.8	1.9	0.2	0.1	1.7
	минимумъ	—6.0	0.0	—0.6	—2.0	—1.9	—0.1	0.0	—0.5	0.0	0.0	—4.5	—2.6
Варшава (132)	максимумъ	1.1	1.4	1.4	0.8	0.0	2.3	2.4	3.2	1.8	0.0	0.0	0.3
	минимумъ	—1.0	0.0	—3.1	—1.9	—1.1	—1.5	—1.5	—1.4	—0.7	—2.0	—1.3	—6.4
Кіевъ (95)	максимумъ	0.0	4.5	0.8	0.0	0.0	0.5	0.2	0.0	0.0	0.3	2.8	1.0
	минимумъ	—0.9	—0.9	0.0	—0.1	—0.8	—0.3	—1.2	—2.1	0.0	—0.5	—0.8	—0.7
Москва (103)	максимумъ	0.0	2.4	2.3	1.9	0.0	0.0	0.2	1.4	3.3	0.0	1.9	0.2
	минимумъ	0.0	0.0	—2.8	—1.4	0.0	—1.0	—0.1	0.0	—0.3	—1.6	—1.1	—2.4
Одесса (67)	максимумъ	0.0	0.9	0.0	0.9	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0
	минимумъ	—0.7	—0.5	0.0	—0.2	—0.8	—0.9	—0.4	0.0	—0.1	—0.6	0.0	—0.4
Астрахань (75)	максимумъ	0.0	0.9	0.0	0.0	1.1	0.8	1.9	3.2	0.5	0.0	0.0	0.0
	минимумъ	—3.6	—0.6	—1.6	—2.1	—2.7	—1.1	—2.8	—3.7	0.0	—0.7	0.0	0.0
Екатеринбургъ (79)	максимумъ	1.6	2.6	0.0	0.4	0.3	0.7	0.1	2.1	1.4	0.7	1.6	0.0
	минимумъ	—2.4	0.0	0.0	—0.1	—0.5	0.0	0.0	—0.3	0.0	0.0	0.0	—2.8

Прежде, чѣмъ обратиться къ таблицѣ, мы должны указать, что отдѣльные ряды ея не вполнѣ сравнимы, такъ какъ они выведены на основаніи весьма разнаго числа лѣтъ, отъ

1) Въ таблицахъ III и IV мы тоже отмѣтили около названій помѣщенныхъ тамъ станцій, въ круглыхъ числахъ, продолжительность наблюденій, причемъ въ счетъ вошли и неполные годы.

67 для Одессы до 159 для Петербурга. Въ общихъ чертахъ мы можемъ указать на слѣдующее:

Изъ 192 данныхъ (для 8 станцій по 2 числа за каждый мѣсяцъ) 62 не подверглись вовсе измѣненію, и лишь 70 измѣнились на 1° и болѣе, около половины изъ нихъ (34)— на 2° и болѣе.

На большинствѣ станцій увеличеніе положительной аномаліи призошло въ февралѣ и іюлѣ, такъ что въ указанные мѣсяцы, судя по этому, можно въ будущемъ скорѣе всего ожидать особенно теплой погоды, какой не было за періодъ съ 1870—1910 гг.; въ противоположность этому наибольшую среднюю за январь и май можно считать какъ достигнувшую своего предѣла, такъ какъ въ январѣ только въ Варшавѣ и Екатеринбургѣ, а въ маѣ — въ Астрахани и Екатеринбургѣ удлиненіе періода внесло измѣненіе этой средней.

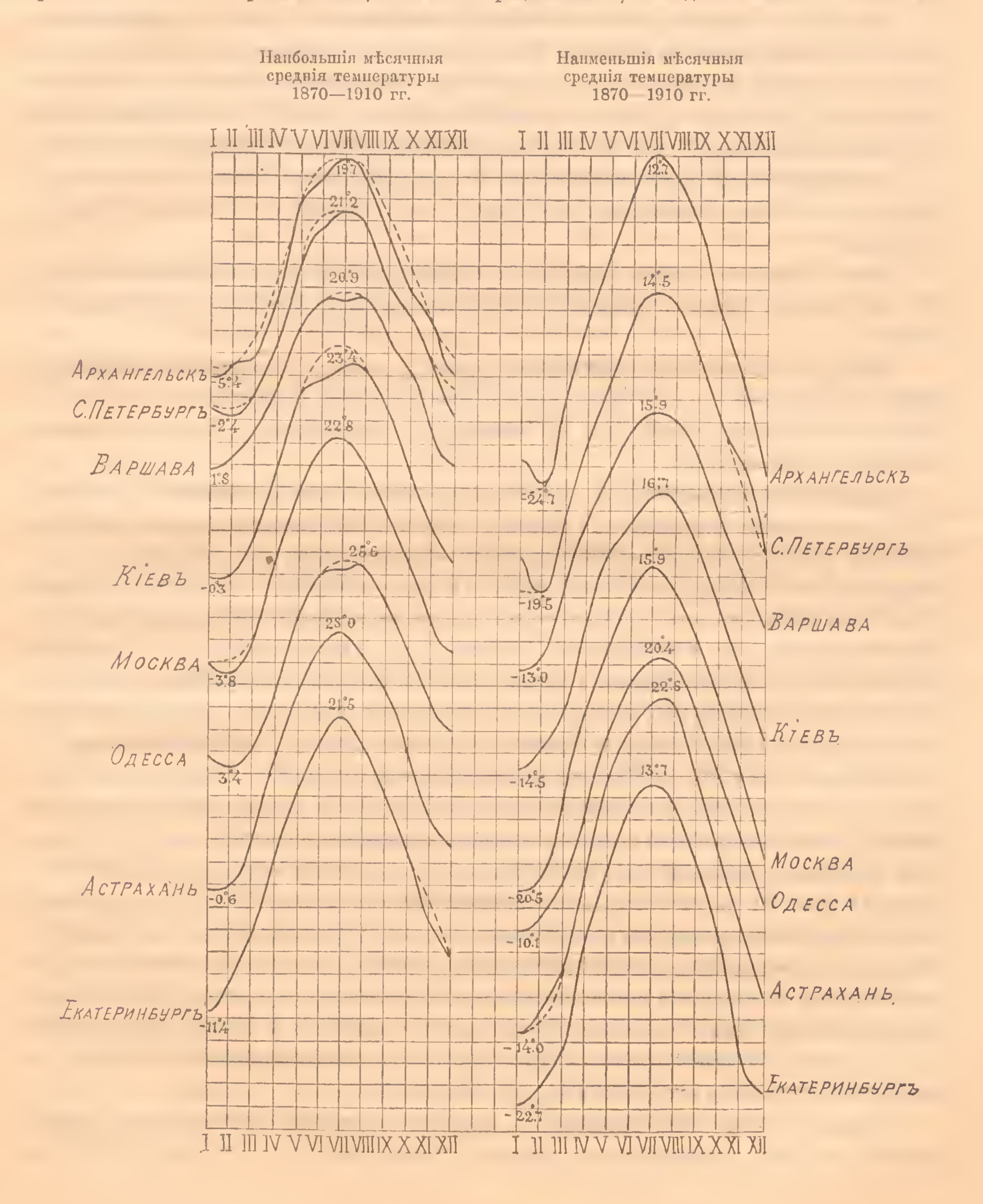
Измѣненія отрицательной аномаліи приходятся чаще всего на весну и зиму, т. е. на мѣсяцы съ апрѣля по іюнь и на январь и декабрь.

Вообще, если только можно говорить о годовомъ ходѣ измѣненій нашихъ аномалій, то оказывается, что измѣненія положительной и отрицательной аномаліи представляютъ почти противоположный ходъ. Число станцій, для которыхъ пришлось бы измѣнить положительную аномалію при переходѣ къ болѣе длинному періоду, возрастаетъ отъ января до максимума въ февралѣ, понижается затѣмъ до минимума въ маѣ и опять повышается къ лѣту, кривая измѣненій отрицательной аномаліи отъ января понижается къ минимуму въ февралѣ, повышается потомъ до максимума съ апрѣля по іюнь и падаетъ къ началу осени.

Конечно, этимъ выводамъ нельзя придавать абсолютнаго значенія, такъ какъ, во-первыхъ, намъ пришлось пользоваться рядами наблюденій весьма различной продолжительности и очень небольшого числа станцій, а, во-вторыхъ, надо принять во вниманіе, что чѣмъ старше наблюденія, тѣмъ, вообще, менѣе ихъ точность, какъ вслѣдствіе неудовлетворительной установки приборовъ, такъ и по причинѣ неточности прежнихъ инструментовъ. Такъ, напримѣръ, обращаютъ на себя вниманіе необычайно низкія среднія за январь и ноябрь въ Петербургѣ; первая относится къ 1814 году, а вторая — къ 1774 году. Относительно соотвѣтствующихъ этимъ годамъ рядовъ наблюденій мы находимъ въ обработкѣ температуры Г. И. Вильда примѣчанія, что они оба не очень надежны. Если ограничиться рядомъ съ 1835 г., когда наблюденія стали производиться при Горномъ Корпусѣ, то самая низкая январская средняя получится —17°.4, т. е. лишь на 2°.1 ниже принятой нами, а ноябрьская —6°.1, т. е. только на 0°.7 ниже нашей. Въ Варшавѣ получилась очень низкая средняя для декабря, она относится къ 1788 г., если ограничиться рядомъ съ 1826 г., когда наблюденія производились при обсерваторіи, то наша средняя измѣнится лишь на 4°.0.

Чтобы провѣрить, достаточно ли обоснованы наши только что приведенныя предположенія можно примѣнить еще слѣдующій способъ. Если мы на основаніи данныхъ объ аномаліяхъ, помѣщенныхъ въ V и VI таблицахъ, построимъ для каждой станціи кривую годового хода максимальныхъ и минимальныхъ мѣсячныхъ среднихъ, то можно ожидать, что если эти данныя представляютъ уже съ большимъ приближеніемъ предѣльныя величины

для извѣстнаго мѣста, то кривыя будутъ имѣть правильную форму; наоборотъ, если въ кривыхъ замѣтны неправильности, то можно предположить, что для соотвѣтственнаго мѣ-



сяца предѣльная величина средней еще не вполнѣ установлена. Мы приводимъ здѣсь такія кривыя, для тѣхъ же 8 станцій о которыхъ только что шла рѣчь.

Первое, что обращаетъ на себя вниманіе, это правильность кривыхъ отрицательныхъ аномалій (правыя кривыя на таблицѣ). Болѣе значительная неправильность замѣчается въ январѣ на кривыхъ для Петербурга и Архангельска. Въ первомъ, для приданія правильной формы кривой, пришлось бы январскую крайнюю среднюю измѣнить (см. пунктирную кривую) приблизительно на 4°, а не на 6°, какъ мы нашли выше, для Архангельска же на 3°.5, т. е. приблизительно на ту же величину, что мы получили выше. Кромѣ того замѣчается нѣкоторая небольшая неправильность въ февралѣ въ Астрахани и въ осенніе мѣсяцы въ Петербургѣ.

Менѣе правильны кривыя наибольшихъ среднихъ температуръ. На большинствѣ станцій, судя по нимъ, можно въ будущемъ ожидать еще довольно большого увеличенія лѣтней аномаліи.

Далѣе, какъ показываетъ пунктирное исправленіе кривыхъ наивысшихъ температуръ, можно предположить, что еще недостигли предѣла наибольшія среднія за февраль въ Петербургѣ и Москвѣ, въ концѣ года въ Петербургѣ и Екатеринбургѣ и для большинства мѣсяцевъ въ Архангельскѣ.

Конечно, всѣ эти разсужденія представляютъ болѣе или менѣе вѣроятныя догадки, и хотя трудно ожидать значительныхъ подъемовъ лѣвыхъ или пониженій правыхъ кривыхъ, но все же рѣзкія измѣненія значеній крайнихъ среднихъ мѣсячныхъ температуръ всегда возможны, какъ, напримѣръ, показалъ май 1897 года, оказавшійся въ сѣверной половинѣ страны на столько теплымъ, что онъ оставилъ далеко за собой всѣ прежнія положительныя майскія аномаліи, даже если принять въ разсчетъ весь рядъ наблюденій. Въ Петербургѣ, Архангельскѣ, Улеаборгѣ, Куопіо, Гельсингфорсѣ, Петрозаводскѣ, Москвѣ и Сердоболѣ за все время наблюденій ни разу не было такого теплаго мая. 1897 годъ измѣнилъ наивысшую до тѣхъ поръ съ 1870 г. майскую среднюю въ Улеаборгѣ на 3°.5, въ Петербургѣ на 3°.6, въ Петрозаводскѣ на 3°.7, въ Кеми на 4°.6, въ Архангельскѣ на 5°.7. Годовая кривая показывала до тѣхъ поръ небольшую впадину около мая; въ 1897 же году образовался въ маѣ выступъ, вслѣдствіе котораго теперь оказывается сравнительно низкимъ іюнь мѣсяцъ (см. выше приведенныя кривыя), такъ что въ будущемъ, по аналогіи, можно ожидать такого же скачка въ іюнѣ. Но мы не будемъ далѣе останавливаться на маѣ 1897 г., такъ какъ объ немъ было уже подробно говорено въ соотвѣтственномъ ежемѣсячномъ бюллетенѣ; здѣсь же укажемъ лишь на возможность такихъ значительныхъ аномалій, отъ которыхъ мы, конечно, не гарантированы въ будущемъ и относительно другихъ мѣсяцевъ, хотя онѣ и являются весьма мало вѣроятными. Яркимъ примѣромъ этому можетъ служить тотъ же май мѣсяцъ, но за 1906 г., когда необычайно высокая средняя 1897 года въ Прибалтійскихъ станціяхъ снова подверглась чувствительному измѣненію, мѣстами на 1°.

Кривыя годового хода наибольшихъ мѣсячныхъ среднихъ, представляя въ общемъ сходство съ кривыми наименьшихъ среднихъ, отличаются, однако, отъ нихъ существенно

въ томъ отношеніи, что амплитуда кривой наибольшихъ среднихъ гораздо менѣе, чѣмъ амплитуда наименьшихъ среднихъ. Это видно и по кривымъ 8 станцій и по таблицамъ V и VI съ данными для всѣхъ 31 станціи, помѣщенныхъ въ концѣ настоящей статьи. Величина этихъ амплитудъ, какъ и амплитудъ нормальной средней температуры, зависитъ отъ географическаго положенія мѣста и вообще увеличивается съ его континентальностью, т. е. въ нашемъ случаѣ по направленію на востокъ. Амплитуда наибольшей средней температуры достигаетъ на западѣ 19° (въ Варшавѣ), а на востокѣ 33° (въ Екатеринбургѣ); для наименьшихъ среднихъ мы находимъ на западѣ 27° (на побережьѣ Балтійскаго моря) и 38° въ Казани. Интересно, что разница обоего рода амплитудъ измѣняется правильно съ географическимъ положеніемъ: на сѣверѣ, собственно на сѣверозападѣ, она достигаетъ наибольшей величины, доходя до 12° въ центрѣ Финляндіи, и уменьшается къ востоку и югу, гдѣ она равняется 3°4 въ Екатеринбургѣ и 5°4 въ Севастополѣ, т. е. амплитуда наибольшихъ температуръ возрастаетъ къ востоку и югу быстрѣе, чѣмъ амплитуды наименьшихъ температуръ.

Менѣе правильный годовой ходъ показываютъ наибольшія положительныя и отрицательныя отклоненія среднихъ мѣсячныхъ температуръ отъ нормальныхъ. Въ общемъ, какъ уже указывалось и какъ видно изъ помѣщенныхъ въ концѣ работы таблицъ, наибольшія отклоненія встрѣчаются зимою, наименьшія — лѣтомъ. На большинствѣ станцій наибольшія отклоненія приходятся на январь мѣсяцъ, на южныхъ станціяхъ отклоненія въ январѣ и декабрѣ приблизительно одинаковы, а на востокѣ послѣднія болѣе. Особенно большія неправильности показываютъ сѣверныя станціи, гдѣ главный максимумъ отрицательныхъ отклоненій приходится на февраль, а вторичный на декабрь, такъ что въ январѣ получается значительный минимумъ отклоненій, что указываетъ на то, что на сѣверѣ январь, по всей вѣроятности, еще не достигъ своего предѣла относительно холодовъ. Далѣе слѣдуетъ еще указать на значительное повышеніе кривой положительныхъ отклоненій въ маѣ мѣсяцѣ тоже на станціяхъ сѣверной Россіи. Кривыя показываютъ здѣсь отчетливый второй максимумъ отклоненій, который въ Кеми и Архангельскѣ становится даже главнымъ.

Въ заключеніе укажемъ, что имѣя въ рукахъ издаваемый Обсерваторіею Ежемѣсячный Метеорологическій Бюллетень всегда можно опредѣлить для извѣстнаго мѣста Европейской Россіи, какія термическія условія, насколько они обнаруживаются въ среднихъ выводахъ, имѣли мѣсто въ данномъ мѣсяцѣ (по новому стилю). Для этого слѣдуетъ полученную среднюю за мѣсяцъ температуру сравнить съ наибольшей или наименьшей температурою на одной изъ ближайшихъ станцій, помѣщенныхъ въ приведенныхъ въ концѣ этой статьи таблицахъ I и II. Но такъ какъ станціи эти распредѣлены очень неравномѣрно и «ближайшая» станція можетъ оказаться довольно далеко, то лучше поступать слѣдующимъ способомъ. По картѣ II бюллетеня выбрать для даннаго мѣста отклоненіе средней температуры отъ нормальной и сравнить его съ наибольшимъ отклоненіемъ того же знака, по одной изъ помѣщенныхъ въ концѣ этой статьи картъ соотвѣтствующаго мѣсяца.

Табли

Наибольшія среднія мѣсячныя температуры

	Январь.	Февраль.	Мартъ.	Апрѣль.	Май.
Улеаборгъ	—2.6 (74)	—3.1 (10)	—1.0 (03)	3.6 (94)	12.6 (97)
Куопіо	—2.2 (74)	—2.9 (87)	—0.6 (03)	4.7 (94)	13.2 (97)
Таммерфорсъ	—0.1 (74)	—1.7 (10)	0.8 (03)	5.9 (94)	13.9 (97)
Гельсингфорсъ	0.4 (74)	—0 7 (10)	0.9 (10)	5.4 (94)	13.3 (97)
Сердоболь	—2.1 (74)	—2.3 (10)	—0.7 (10)	4.0 (90)	14.2 (97)
Кемь	—3.1 (74)	—3.4 (10)	—1.9 (71, 03)	3.3 (94)	13.2 (97)
Петрозаводскъ	—2.6 (74)	—3.0 (10)	—0.9 (71)	4.5 (94)	14.1 (97)
С.-Петербургъ	—1.4 (82)	—2.4 (10)	0.4 (90, 03)	6.4 (90)	16.2 (97)
Ревель	0 9 (82)	—0.4 (03)	2.1 (03)	7.0 (94)	13.1 (06)
Перновъ	0.8 (82)	—0 3 (10)	1.6 (03)	7.8 (94)	15.6 (97, 06)
Юрьевъ	0.0 (82)	—1.5 (03)	1.8 (03)	7.8 (94)	16.1 (06)
Рига	1.5 (82)	0.5 (03)	3.9 (03)	9.1 (90)	16.7 (00)
Виндава	2.1 (82)	1.0 (03)	2.9 (03)	8.1 (94)	12.8 (90)
Либава	2.5 (82)	1.3 (03)	3.6 (03)	8.8 (94)	14.1 (90)
Вильна	0.6 (82)	0.0 (03)	4.4 (82)	9.7 (90)	17.8 (89)
Варшава	1.8 (02)	2.3 (10)	6.2 (82)	10.5 (90)	18.0 (72)
Москва (Константиновскій институтъ)	—2.4 (82)	—3.8 (03)	0.6 (82)	8.9 (03)	17.9 (97)
Архангельскъ	—5.4 (74)	—3.9 (10)	—3.2 (03, 07)	3.4 (03)	14.4 (97)
Вятка	—10.0 (82)	—8.2 (94)	—3.0 (78)	6.3 (03)	16.0 (97, 06)
Екатеринбургъ	—11.4 (99)	—7.8 (94)	—2.1 (76)	6.7 (88)	14.1 (97)
Казань	—7.7 (99)	—6.7 (03)	—0.2 (91)	9.5 (88)	18.7 (06)
Астрахань	—0.6 (02)	0.4 (01)	4.8 (77)	15.0 (72)	21.9 (72)
Лугапскъ	—0.5 (02)	0.3 (04)	4.7 (06)	13.3 (88, 03)	21.8 (72)
Кіевъ	—0.2 (99)	—0.1 (03)	4.5 (82)	12.4 (76)	20.9 (72)
Елисаветградъ	0.8 (99)	0.3 (79)	4.8 (76)	12.8 (70)	18.3 (06)
Одесса	4.2 (95)	3.4 (79)	6.0 (76, 82, 06)	11.8 (72)	21.3 (72)
Николаевъ	3.7 (95)	2.4 (79)	6.2 (76)	12 8 (72)	22.5 (72)
Севастополь	9.7 (95)	8.6 (79)	9.2 (76)	12 9 (79)	18.8 (87)
Ставрополь	0.0 (95)	3.4 (79)	6.9 (01)	11.7 (72)	17.6 (72)
Тифлисъ	5.0 (73)	5.9 (01)	10.4 (77)	15.7 (72)	20.7 (85)
Баку, городъ	5.9 (73, 79)	6.6 (04)	10.0 (77)	15.4 (72)	20.8 (83)

ца I.

съ 1870 г. по 1910 г. (включительно).

Іюнь.	Іюль.	Августъ.	Сентябрь.	Октябрь.	Ноябрь.	Декабрь.	Годъ.
17.0 (76)	19.8 (96)	17.7 (82)	11.3 (73)	7.0 (74)	2.3 (77)	—1.3 (77)	3.5 (94)
17.8 (76)	20.2 (01)	16.7 (01)	11.5 (73)	8.2 (09)	2.8 (77)	—2.5 (77)	4.1 (10)
18.9 (76)	21.5 (01)	18.1 (82)	12.7 (79)	8.7 (09)	4.1 (77)	—0.5 (77)	5.3 (94, 10)
17.8 (96)	20.0 (01)	18.5 (82)	12.9 (73)	10.0 (09)	5.3 (77)	0.0 (77)	6.3 (10)
18.1 (76)	20.3 (85)	18.8 (82)	12.2 (78)	8.6 (78)	4.0 (77)	—2.6 (77)	4.6 (10)
15.9 (83)	17.6 (85)	17.0 (82)	10.1 (76)	5.8 (09)	1.6 (77)	—3.8 (77)	2.0 (83, 03)
17.9 (83)	20.3 (85)	18.8 (82)	11.0 (78, 80, 09)	7.8 (09)	2.8 (77)	—3.0 (86)	4.0 (10)
18.6 (76)	21.2 (85)	19.2 (82)	12.8 (80)	9.2 (09)	4.2 (77)	—1.9 (86)	5.7 (10)
18.6 (76)	19.8 (01)	18.4 (82)	13.9 (79, 80)	9.9 (09)	5.1 (77)	0.1 (98, 10)	6.7 (90)
18.4 (96)	20.6 (01)	18.4 (01)	14.3 (78)	10.0 (09)	4.2 (83)	—0.1 (98)	7.1 (10)
19.5 (76)	20.6 (85)	17.7 (82)	12.8 (78)	9.0 (09)	4.4 (77)	—0.9 (10)	6.2 (10)
19.7 (76)	20.9 (01)	18.8 (01)	13.9 (80)	10.7 (07)	5.1 (77)	1.2 (73, 98)	7.8 (10)
17.5 (76)	19.3 (99)	18.1 (97, 01)	13.9 (78)	11.3 (07)	5.6 (99)	3.1 (73)	7.5 (10)
18.4 (76)	19.3 (96, 99)	18.5 (97)	15.3 (78)	11.9 (07)	6.3 (99)	3.6 (98)	8.1 (10)
20.3 (89)	21.3 (96)	20.2 (90)	14.4 (92)	11.6 (07)	4.7 (77)	0.6 (73, 98)	8.0 (72, 82)
20.7 (75)	20.7 (96)	20.9 (90)	16.6 (92)	13.0 (07)	6.2 (72)	2.1 (98)	9.3 (72)
21.9 (01)	22.8 (85)	20.1 (97)	13.7 (87)	8.8 (96)	2.0 (78)	—1.5 (86)	6.0 (03)
17.0 (83)	19.7 (85)	17.7 (82)	11.1 (76)	4.8 (09)	1.4 (77)	—5.2 (03)	2.1 (05)
18.1 (78)	21.6 (90)	18.0 (94)	13.1 (76)	6.3 (96)	—0.9 (78)	—4.6 (86)	3.5 (78)
18.4 (70)	21.5 (90)	17.4 (81)	12.5 (87)	5.8 (96)	—2.0 (78)	—6.1 (86)	2.9 (78)
20.7 (78, 01)	24.0 (90)	20.4 (72)	15.7 (09)	8.4 (96, 05)	1.5 (78)	—3.3 (86)	4.9 (78)
26.8 (78)	28.0 (77, 90)	25.2 (91)	21.7 (87)	15.7 (05)	7.1 (09)	3.9 (74)	10.8 (78)
24.7 (01)	26.2 (90)	24.7 (72)	19.3 (09)	12.4 (05)	7.0 (70)	4.4 (86)	9.8 (01, 06)
22.2 (75, 01)	23.4 (85)	23.1 (90)	18.6 (09)	12.2 (96)	5.5 (70)	1.0 (86)	8.6 (72)
24.1 (75)	25.0 (82)	23.6 (90)	20.4 (09)	12.7 (96)	7.5 (78)	3.8 (86, 02)	9.3 (78)
25.0 (75)	25.4 (82)	25.6 (90)	21.1 (92)	16.0 (96)	10.8 (78)	7.3 (86)	11.3 (78)
25.4 (75)	26.4 (82)	26.1 (90)	21.3 (09)	14.7 (96)	9.7 (78)	6.1 (86)	11 3 (72)
23.4 (75)	25.8 (97)	25.1 (90)	22.2 (09)	17.1 (85)	13.5 (78)	11.2 (86)	13.4 (09)
21.0 (75, 97)	23.1 (83)	22.6 (90)	19.4 (09)	14.1 (05)	9.3 (70)	5.6 (74)	9.8 (01)
24.6 (92)	27.1 (79)	26.8 (82)	21.7 (99)	17.0 (05)	9.7 (05)	6.9 (76)	14.1 (76, 79)
26.1 (78)	28.3 (83)	27.7 (72)	25.3 (76)	21.0 (05)	14.5 (78)	10.9 (78)	16.1 (79)

Табли

Наименьшія среднія мѣсячныя температуры

	Январь.	Февраль.	Мартъ.	Апрѣль.	Май.
Улеаборгъ	—16.1 (75)	—21.3 (71)	—12.7 (88)	—3.4 (81)	3.5 (99)
Куопіо	—16.6 (75)	—21.0 (71)	—11.7 (88)	—2.1 (02)	3.2 (76)
Таммерфорсъ	—13.9 (75, 93)	—14.9 (95)	—10.8 (88)	—1.1 (81)	4.8 (76)
Гельсингфорсъ	—13.1 (93)	—18.0 (71)	— 9.5 (88)	—1.3 (81)	4.6 (76)
Сердоболь	—17.0 (75)	—18.0 (95)	—11.6 (99)	—1.5 (73)	4.0 (76)
Кемь	—18.5 (07)	—21.3 (93)	—14.1 (99)	—6.4 (09)	0.1 (73)
Петрозаводскъ	—16.9 (75, 07)	—19 6 (71)	—10.6 (88)	—3.1 (73)	3.1 (76)
С.-Петербургъ	—15.3 (93)	—19.5 (71)	—10.1 (88)	—1.4 (02)	4.5 (76)
Ревель	—12.8 (93)	—16.3 (71)	—9.0 (88)	—0.5 (02)	5.1 (76)
Перновъ	—14.8 (93)	—13.1 (93)	—9.4 (88)	—3.1 (81)	7.5 (00)
Юрьевъ	—14.8 (93)	—17.5 (71)	—9.3 (88)	—0.5 (02)	5.3 (76)
Рига	—14.3 (93)	—12.6 (71)	—6.9 (88)	1.1 (75)	6.8 (76)
Виндава	—13.0 (93)	—12.3 (71)	—6.8 (88)	—0.3 (81)	5.5 (76)
Либава	—12.4 (93)	—10.0 (71)	—5.6 (88)	1.1 (81)	6.6 (09)
Вильна	—14.9 (93)	—11.7 (71)	—6.3 (88)	2.3 (75)	8.1 (76)
Варшава	—13.0 (93)	—11.3 (70)	—3.7 (86)	4.5 (81)	9.4 (74, 76)
Москва (Константиновскій институтъ)	—20.5 (93)	—18.6 (71)	—9.2 (98)	0.3 (75, 93)	7.6 (76)
Архангельскъ	—21.9 (07)	—24.7 (71)	—15.1 (99)	—6.5 (73)	1.2 (76)
Вятка	—19.8 (07)	—17.0 (77, 98)	—13.0 (98)	—2.8 (80)	5.9 (84)
Екатеринбургъ	—22.6 (93)	—20.2 (71)	—15.2 (98)	—2.5 (73)	4.9 (90)
Казань	—21.1 (91)	—20.8 (71)	—12.2 (98)	—0.7 (80)	8.7 (71)
Астрахань	—14.0 (93)	—11.2 (80)	—6.6 (98)	5.0 (80)	16.0 (84)
Лугапскъ	—14.6 (71)	—13.7 (72)	—6.9 (75)	3.7 (75)	11.7 (71)
Кіевъ	—14.5 (93)	—12.0 (70)	—7.4 (75)	3.2 (75, 93)	10.3 (76)
Елисаветградъ	—13.3 (93)	—9.9 (80)	—7.3 (75)	3.7 (75)	11.5 (74)
Одесса	—10.1 (93)	—8.0 (70)	—3.9 (75)	5.2 (93)	13.2 (74)
Николаевъ	—11.1 (93)	—9.0 (72)	—5.0 (75)	5.5 (93)	13.8 (74)
Севастополь	—1.7 (96)	—1.2 (91)	—0.2 (75)	6.6 (93)	13.7 (93)
Ставрополь	—9.2 (89)	—9.6 (72)	—4.7 (80)	4.3 (96)	11.7 (71)
Тифлисъ	—7.0 (87)	—1.5 (82)	2.0 (74)	9.2 (70)	15.1 (96)
Баку, городъ	0.5 (89)	1.4 (72)	3.2 (98)	8.6 (96)	16.5 (96)

ца II.

съ 1870 г. по 1910 г. (включительно).

Іюнь.	Іюль.	Августъ.	Сентябрь.	Октябрь.	Ноябрь.	Декабрь.	Годъ.
9.9 (85)	13.3 (00)	11.5 (99)	5.8 (94)	—2.3 (80)	—8.4 (79)	—17.5 (76)	—0.3 (88)
11.0 (92)	14.1 (02)	11.3 (99)	5.8 (94)	—0.3 (02, 03)	—5.9 (75)	—18.4 (76)	0.5 (02)
11.7 (99)	14.0 (02)	12.4 (99)	7.5 (94)	—0.9 (80)	—4.9 (82)	—15.2 (76)	1.9 (88)
11.2 (99)	13.9 (02)	12.9 (99)	7.9 (77)	—0.3 (80)	—3.6 (82)	—13.0 (76)	2.2 (75)
11.5 (92)	14.3 (02)	12.2 (99)	6.3 (94)	—1.5 (80)	—6.4 (82)	—16.6 (76, 10)	0.8 (02)
6.0 (99)	10.7 (79)	9.7 (10)	4.4 (94)	—3.5 (80)	—9.7 (82)	—19.2 (76)	—1.8 (02)
10.6 (71)	13.4 (79)	12.0 (84)	5.9 (77)	—2.1 (80)	—7.3 (91)	—17.7 (76)	0.1 (75)
11.8 (99)	14.4 (78)	13.4 (99)	7.1 (94)	—0.5 (80)	—5.4 (91)	—15.8 (76)	1.6 (75)
9.9 (99)	14.0 (02)	13.5 (07)	9.3 (94)	1.3 (80)	—2.6 (76)	—10.4 (76)	3.5 (02)
11.8 (99)	14.5 (02, 04)	13.8 (99)	8.7 (94)	1.4 (80)	—3.3 (82)	—9.6 (07)	3.5 (88)
11.1 (99)	14.5 (78, 02)	12.9 (99)	7.4 (94)	—0.2 (80)	—4.6 (76)	—14.2 (76)	2.4 (75)
12.5 (99)	15.2 (02)	14.3 (02, 07)	9.1 (77)	2.3 (75)	—4.2 (76)	—11.5 (76)	4.1 (75)
10.1 (99)	13.4 (02)	13.7 (85)	9.6 (77)	3.1 (80)	—3.8 (76)	—9.0 (76)	4.1 (75)
11.0 (99)	14.1 (02)	14.1 (85)	10.2 (94)	4.0 (75)	—3.1 (76)	—8.5 (76)	4.9 (75)
13.1 (99)	15.5 (02)	14.5 (84)	8.7 (94)	3.1 (75)	—3.7 (76)	—11.0 (70)	4.1 (75, 02)
14.9 (87)	15.9 (98)	15.0 (85)	10.3 (77)	3.9 (71)	—2.1 (76)	—8.3 (79)	5.5 (71)
13.4 (04)	15.9 (04)	13.0 (84)	7.8 (94)	0.9 (98)	—7.0 (91)	—17.7 (76)	1.5 (75)
8.7 (70, 00)	12.7 (79, 04)	9.7 (91)	5.2 (77)	—4.9 (02)	—12.9 (82)	—23.6 (75)	—2.3 (02)
12.7 (00)	14.8 (04)	11.5 (84)	5.6 (84)	—2.4 (98)	—13.4 (90)	—22.6 (76)	—0.7 (75)
12.0 (86)	13.7 (08)	11.5 (84)	4.8 (84)	—3.9 (82, 91)	—16.7 (90)	—21.2 (76)	—0.9 (75)
14.7 (04)	17.2 (04)	14.6 (84)	7.3 (84)	—0.9 (98)	—10.8 (91)	—17.5 (70)	1.0 (75)
20.6 (04)	22.8 (74)	22.4 (98)	13.6 (84)	6.0 (82)	—2.8 (09)	—10.7 (88)	7.9 (96)
17.3 (94)	20.1 (74)	19.2 (84, 85)	11.8 (94)	4.8 (98)	—3.4 (02)	—12.7 (75)	6.5 (96)
14.4 (87)	16.7 (78)	15.5 (84)	10.4 (94)	4.0 (71)	—3.6 (02)	—11.8 (90)	5.4 (75)
16.1 (87, 94)	18.7 (78)	18.3 (99, 06)	11.8 (89)	5.9 (82, 02)	—3.5 (02)	—10.4 (90)	6.6 (81)
18.4 (87)	20.4 (78)	19.5 (84)	13.9 (75)	7.8 (71)	—0.1 (02)	—7.5 (90)	8.7 (81)
18.4 (94)	20.6 (78)	19.8 (84)	13.8 (75, 89)	7.4 (71)	—1.8 (02)	—8.2 (90)	8.5 (81)
18.9 (82)	20.9 (77)	20.9 (79)	15.4 (75)	11.2 (06)	2.8 (02)	0.0 (75)	11.3 (94)
15.7 (94)	17.2 (74)	18.1 (79)	10.6 (84)	5.9 (82)	—2 9 (97)	—6.6 (99)	7.2 (96)
19.5 (96)	22.2 (86)	22.3 (84, 06)	17.1 (86, 95)	10.3 (01)	4.4 (00)	—0.1 (99)	12.0 (94, 96)
21.7 (94)	24.2 (96)	25.0 (85)	19.0 (84)	13.6 (01)	7.2 (97)	3.5 (81)	13.5 (96)

Табли

Наибольшія среднія за

Число лѣтъ наблюденія.		Январь.	Февраль.	Мартъ.	Апрѣль.
58	Улеаборгъ	−2.6 (1874)	−3.1 (1910)	−1.0 (1903)	3.6 (1894)
56	Куопіо	−2.2 (1874)	−2.9 (1887)	−0.6 (1903)	4.7 (1894)
78	Гельсингфорсъ	0.4 (1874)	−0.7 (1910)	0.9 (1910)	5.4 (1894)
57	Сердоболь	−2.1 (1874)	−2.3 (1910)	−0.7 (1910)	4.0 (1890)
54	Петрозаводскъ	−2.6 (1874)	−3.0 (1910)	−0.9 (1871)	4.5 (1894)
159	С.-Петербургъ	−1.4 (1882)	−1.0 (1793)	1.6 (1836)	7.8 (1827)
90	Ревель	0.9 (1882)	−0.4 (1903)	2.1 (1903)	7.0 (1894)
62	Юрьевъ	0.0 (1882)	−0.9 (1843)	1.8 (1903)	7.8 (1894)
99	Рига	2.4 (1796)	1.4 (1797)	3.9 (1903)	10.0 (1827)
52	Либава	2.5 (1882)	1.6 (1863)	3.6 (1903)	8.8 (1894)
96	Вильна	0.6 (1882)	2.1 (1843)	5.4 (1836)	11.1 (1848)
132	Варшава	2.9 (1796)	3.7 (1843)	7.6 (1836)	11.3 (1848)
103	Москва (Константиновскій институтъ)	−2.4 (1882)	−1.4 (1843)	2.9 (1836)	10.8 (1848)
97	Архангельскъ	−5.4 (1874)	−3.5 (1822)	0.5 (1822)	4.3 (1827)
79	Екатеринбургъ	−9.8 (1863)	−5.2 (1843)	−2.1 (1876)	7.1 (1859)
93	Казань	−4.9 (1863)	−4.3 (1843)	−0.2 (1891)	10.9 (1818)
75	Астрахань	−0.6 (1902)	1.3 (1844)	4.8 (1877)	15.0 (1872)
74	Лугансвъ	−0.5 (1902)	1.6 (1843)	4.7 (1906)	14.1 (1848)
95	Кіевъ	−0.2 (1899)	4.4 (1843)	5.3 (1836)	12.4 (1876)
67	Одесса	4.2 (1895)	4.3 (1843)	6.0 (1876, 1882, 1906)	12.7 (1859)
95	Николаевъ	3.7 (1895)	4.8 (1843)	6.6 (1824)	13.3 (1848)
78	Севастополь	9.7 (1895)	8.8 (1853)	9.6 (1836, 1806)	13.2 (1829, 1848)
67	Тифлисъ	5.0 (1873)	5.9 (1901)	10.4 (1877)	15.7 (1872)
63	Баку, городъ	6.8 (1857)	6.6 (1904)	10.0 (1877)	15.4 (1872)

ц а III.

весь періодъ наблюденія.

Май.	Іюнь.	Іюль.	Августъ.	Сентябрь.	Октябрь.	Ноябрь.	Декабрь.	Годъ.
12.6 (1897)	17.0 (1876)	20.6 (1801)	17.7 (1882)	11.9 (1863)	7.0 (1874)	2.3 (1877)	—1.3 (1877)	4.0 (1863)
13.2 (1897)	17.8 (1876)	21.5 (1855)	19.6 (1846)	12.6 (1863)	8.2 (1909)	2.8 (1877)	—2.5 (1877)	4.1 (1910)
13.3 (1897)	17.8 (1896)	20.2 (1855)	20.6 (1846)	14.3 (1866)	10.0 (1909)	5.3 (1877)	0.0 (1877)	6.3 (1910)
14.2 (1897)	18.1 (1876)	21.4 (1861)	19.4 (1846)	13.4 (1863)	8.6 (1878)	4.0 (1877)	—2.0 (1854)	4.7 (1863)
14.1 (1897)	17.9 (1883)	20.5 (1801)	18.8 (1882)	13.6 (1860)	7.8 (1909)	2.8 (1877)	—3.0 (1886)	4.7 (1863)
16.2 (1897)	20.3 (1774)	23.7 (1757)	20.0 (1775)	14.7 (1775)	9.4 (1775)	4.3 (1772)	—0.2 (1826)	6.5 (1826)
13.1 (1906)	18.6 (1876)	20.6 (1885)	20.7 (1846)	14.7 (1806)	9.9 (1909)	5.1 (1877)	1.6 (1842)	6.7 (1890)
16.1 (1906)	19.5 (1876)	20.7 (1857, 1861)	19.4 (1868)	14.0 (1866)	9.0 (1909)	4.4 (1877)	0.7 (1840, 1841)	6.3 (1863)
17.2 (1801)	19.8 (1797)	23.1 (1826)	21.9 (1846)	17.5 (1806)	10.7 (1907)	5.6 (1799)	2.8 (1824)	9.1 (1826)
14.1 (1890)	18.4 (1876)	19.9 (1861, 1865)	18.7 (1858)	15.3 (1878)	11.9 (1907)	6.3 (1899)	3.6 (1898)	8.5 (1863)
17.8 (1889)	21.5 (1827)	23.3 (1826)	22.5 (1846)	16.8 (1866)	11.6 (1907)	5.1 (1825)	1.8 (1824)	8.6 (1822)
18.0 (1872)	23.0 (1811)	23.1 (1811)	24.1 (1807)	18.4 (1761)	13.0 (1907)	6.2 (1872)	2.4 (1843)	9.8 (1761)
17.9 (1897)	21.9 (1901)	23.0 (1828)	21.5 (1839)	17.0 (1847)	8.8 (1896)	3.9 (1851)	—1.3 (1824)	6.0 (1903)
14.4 (1897)	19.0 (1823)	20.0 (1826, 1869)	18.2 (1847)	14.5 (1847)	5.6 (1821)	1.4 (1877)	—4.6 (1822)	3.4 (1826)
14.4 (1861)	19.1 (1804)	21.6 (1832)	19.5 (1864)	13.9 (1851)	6.5 (1843)	—0.4 (1833)	—6.1 (1886)	2.9 (1878)
18.7 (1906)	22.8 (1818)	24.0 (1890)	24.8 (1869)	17.5 (1847)	8.4 (1896, 1905)	1.5 (1878)	—3.2 (1854)	5.2 (1869)
23.0 (1855)	27.6 (1864)	29.9 (1840)	28.4 (1839)	22.2 (1859)	15.7 (1905)	7.1 (1909)	3.9 (1874)	11.5 (1849)
21.8 (1872)	24.7 (1901)	26.8 (1848)	26.6 (1839)	20.3 (1851)	12.4 (1905)	7.0 (1870)	4.4 (1886)	9.8 (1901, 1906)
20.9 (1872)	22.7 (1855)	23.6 (1845)	23.1 (1890)	18.6 (1909)	12.5 (1819)	8.3 (1851)	2.0 (1824)	8.9 (1843)
21.3 (1872)	25.0 (1875)	25.8 (1841)	25.6 (1890)	21.1 (1892)	16.0 (1896)	11.7 (1851)	7.3 (1886)	11.3 (1878)
22.5 (1872)	25.4 (1875)	27.4 (1841)	26.5 (1839)	21.3 (1909)	14.7 (1896)	10.3 (1851)	6.1 (1880)	11.6 (1851)
20.9 (1851)	24.5 (1848)	26.7 (1853)	26.9 (1851)	22.9 (1851)	17.4 (1853)	14.0 (1851)	11.2 (1886)	14.6 (1851)
22.7 (1885)	24.6 (1892)	27.1 (1879)	26.8 (1882)	22.6 (1859)	17.0 (1905)	10.3 (1848)	6.9 (1876)	14.1 (1876, 1879)
21.7 (1851)	26.1 (1878)	28.3 (1883)	29.1 (1869)	25.3 (1876)	21.0 (1905)	14.5 (1878)	10.9 (1878)	16.1 (1879)

Табли

Наименьшія среднія за

Число лѣтъ наблюденія.		Январь.	Февраль.	Мартъ.	Апрѣль.
58	Улеаборгъ	—17.2 (1862)	—21.3 (1871)	—12.7 (1888)	—3.4 (1881)
56	Куопіо	—19.0 (1862)	—21.0 (1871)	—11.7 (1888)	—2.1 (1902)
78	Гельсингфорсъ	—15.3 (1861)	—18.0 (1871)	—9.5 (1888)	[illegible].3 (1847 / 1852)
57	Сердоболь	—19.2 (1862)	—18.0 (1895)	—11.6 (1899)	3.2 (1847)
54	Петрозаводскъ	—20.8 (1862)	—19.6 (1871)	—10.6 (1888)	—3.1 (1873)
159	С.-Петербургъ	—21.3 (1814)	—19.5 (1871)	—10.7 (1809)	—3.4 (1790)
90	Ревель	—14.4 (1809)	—16.3 (1871)	—9.5 (1829)	—2.1 (1852)
62	Юрьевъ	—16.5 (1861)	—17.5 (1871)	—9.3 (1888)	—0.[illegible] (1902)
99	Рига	—17.0 (1803)	—16.3 (1799)	—6.9 (1888)	0.0 (1852)
52	Либава	—12.4 (1893)	—10.0 (1871)	—5.6 (1888)	1.1 (1881)
96	Вильна	—14.9 (1893)	—13.2 (1855)	—7.6 (1845)	0.8 (1839)
132	Варшава	—14.0 (1823)	—11.3 (1855 / 1870)	—6.8 (1808 / 1845)	2.6 (1[illegible]17)
103	Москва (Константиновскій институтъ)	—20.5 (1893)	—18.6 (1871)	—12.0 (1789 / 1860)	—[illegible] (1861)
97	Архангельскъ	—24.6 (1814)	—24.7 (1871)	—15.1 (1899)	—7.5 (1843)
79	Екатеринбургъ	—25.0 (1850)	—20.2 (1871)	—15.2 (1898)	—2.6 (1861)
93	Казань	—21.9 (1813)	—20.8 (1871)	—12.2 (1898)	—1.0 (1861)
75	Астрахань	—17.6 (1848)	—11.8 (1748)	—8.2 (1860)	2.9 (1839)
74	Лугапскъ	—17.5 (1848)	—14.0 (1841 / 1862)	—7.5 (1860)	3.7 (1875)
95	Кіевъ	—15.4 (1861)	—12.9 (1841)	—7.2 (1875)	3.1 (1852)
67	Одесса	—10.8 (1861)	—8.5 (1841)	—3.9 (1875)	5.0 (1852)
95	Николаевъ	—12.7 (1838)	—9.1 (1841 / 1862)	—5.0 (1875)	5.5 (1893)
78	Севастополь	—4.4 (1864)	—2.1 (1834)	—0.2 (1875)	5.9 (1839)
67	Тифлисъ	—7.0 (1887)	—1.5 (1882)	1.8 (1860)	7.6 (1854)
63	Баку, городъ	—0.7 (1864)	0.7 (1857 / 1861)	2.9 (1860)	7.5 ([illegible]

ц а IV.

весь періодъ наблюденія.

Май.	Іюнь.	Іюль.	Августъ.	Сентябрь.	Октябрь.	Ноябрь.	Декабрь.	Годъ.
3.5 (1899)	9.9 (1885)	13.3 (1900)	11.2 (1856)	5.8 (1894)	—2.3 (1880)	—9.8 (1852)	—17.5 (1876)	—0.5 (1856)
3.2 (1876)	11.0 (1892)	14.1 (1902)	11.3 (1899)	5.8 (1894)	—1.0 (1852)	—9.8 (1852)	—18.4 (1876)	0.5 (1902)
2.0 ([illegible])	11.2 (1899)	13.3 (1862)	12.1 (1856)	7.9 (1877)	—0.3 (1880)	—6.4 (1856)	—13.0 (1876)	1.6 (1867)
4.0 (18[illegible])	11.5 (1892)	14.3 (1902)	12.2 (1899)	6.3 (1894)	—1.5 (1880)	—7.8 (1852)	—16.6 (1876 / 1910)	0.7 (1862)
1.5 (1867)	10.6 (1871)	13.4 (1879)	12.0 (1884)	5.9 (1877)	—2.1 (1880)	—8.5 (1864)	—17.7 (1876)	0.0 (1867)
2.6 (1867)	11.7 (1810)	14.4 (1878)	12.9 (1835 / 1856)	7.1 (1894)	—0.5 (1880)	—9.9 (1774)	—18.3 (1788)	1.3 (1809)
2.4 (1867)	9.9 (1899)	13.5 (1832)	12.5 (1886)	9.0 (1836)	1.3 (1880)	—4.2 (1856)	—10.5 (1839)	2.2 (1829)
3.9 (1867)	11.1 (1899)	14.5 (1878 / 1902)	12.9 (1899)	7.4 (1894)	—0.2 (1880)	—4.7 (1864)	—14.2 (1876)	2.4 (1875)
6.4 (1864)	12.1 (1806)	15.2 (1902)	14.3 (1902 / 1907)	9.1 (1877)	2.2 (1805)	—4.2 (1876)	—11.5 (1876)	4.0 (1829)
6.2 (1864)	11.0 (1899)	14.1 (1902)	14.1 (1885)	10.2 (1894)	4.0 (1875)	—3.1 (1876)	—8.5 (1876)	4.9 (1875)
7.5 (1864)	13.1 (1899)	15.3 (1832)	14.5 (1884 / 1885)	8.7 (1894)	3.1 (1875)	—3.7 (1876)	—11.6 (1855)	4.5 (1829)
8.3 (1864)	13.4 (1810)	14.4 (1832)	13.6 (1833)	9.6 (1797)	1.9 (1805)	—3.4 (1827)	—14.7 (1788)	4.7 (1799)
7.[illegible] ([illegible]76)	12.4 (1865)	15.8 (1825 / 1863)	13.0 (1884)	7.5 (1780)	—0.7 (1811)	—8.1 (1844)	—20.1 (1788)	1.4 (1862)
—0.9 (1867)	8.6 (1821)	10.9 (1837)	9.7 (1891)	5.2 (1877)	—4.9 (1902)	—13.7 (1864)	—23.7 (1835)	—2.3 (1902)
4.[illegible] (1862)	12.0 (1886)	13.7 (1908)	11.2 (1858)	4.8 (1884)	—3.9 (1882 / 1891)	—16.7 (1890)	—24.0 (1860)	—1.0 (1862)
6.9 (1833)	14.1 (1831)	16.1 (1837)	13.6 (1882)	6.6 (1817)	—0.9 (1898)	—10.8 (1891)	—21.7 (1860)	0.9 (1862)
13.3 (1839)	19.5 (1861)	20.0 (1843)	18.7 (1843)	13.6 (1884)	5.3 (1862)	—2.8 (1909)	—10.7 (1888)	7.9 (1896)
11.7 (1871)	17.3 (1894)	19.4 (1837)	19.2 (1884 / 1885)	11.8 (1894)	4.7 (1862 / 1866)	—3.4 (1844 / 1862 / 1902)	—14.5 (1839)	6.2 (1862)
9.5 (1864)	14.1 (1832)	15.5 (1832)	13.4 (1833)	10.4 (1828 / 1894)	3.5 (1866)	—4.4 (1859)	—12.5 (1855)	4.4 (1832)
12.4 (1843 / 1861)	17.5 (1846)	20.0 (1843)	19.5 (1884)	13.8 (1843 / 1857)	7.2 (1866)	—0.1 (1902)	—7.9 (1840)	8.3 (1858)
13.2 (1814)	17.5 (1867)	19.5 (1832)	19.7 (1835)	13.8 (1889)	6.7 (1810)	—1.8 (1902)	—10.0 (1812)	7.4 (1832)
13.7 (1893)	18.1 (1846)	20.8 (1832)	20.6 (1832)	15.4 (1875)	9.5 (1838)	2.8 (1902)	—2.0 (1840)	10.1 (1832)
15.1 (1896)	19.1 (1846)	22.2 (1886)	21.9 (1854)	17.0 (1862)	9.5 (1862)	4.4 (1900)	—1.1 (1844)	11.7 (1862)
[illegible] (1850)	20.4 (1861)	24.2 (1896)	24.0 (1854)	19.0 (1884)	13.2 (1862)	7.2 (1897)	1.7 (1862)	13.3 (1862)

Таблица V.

Наибольшія положительныя отконенія отъ нормы. 1870—1910 гг.

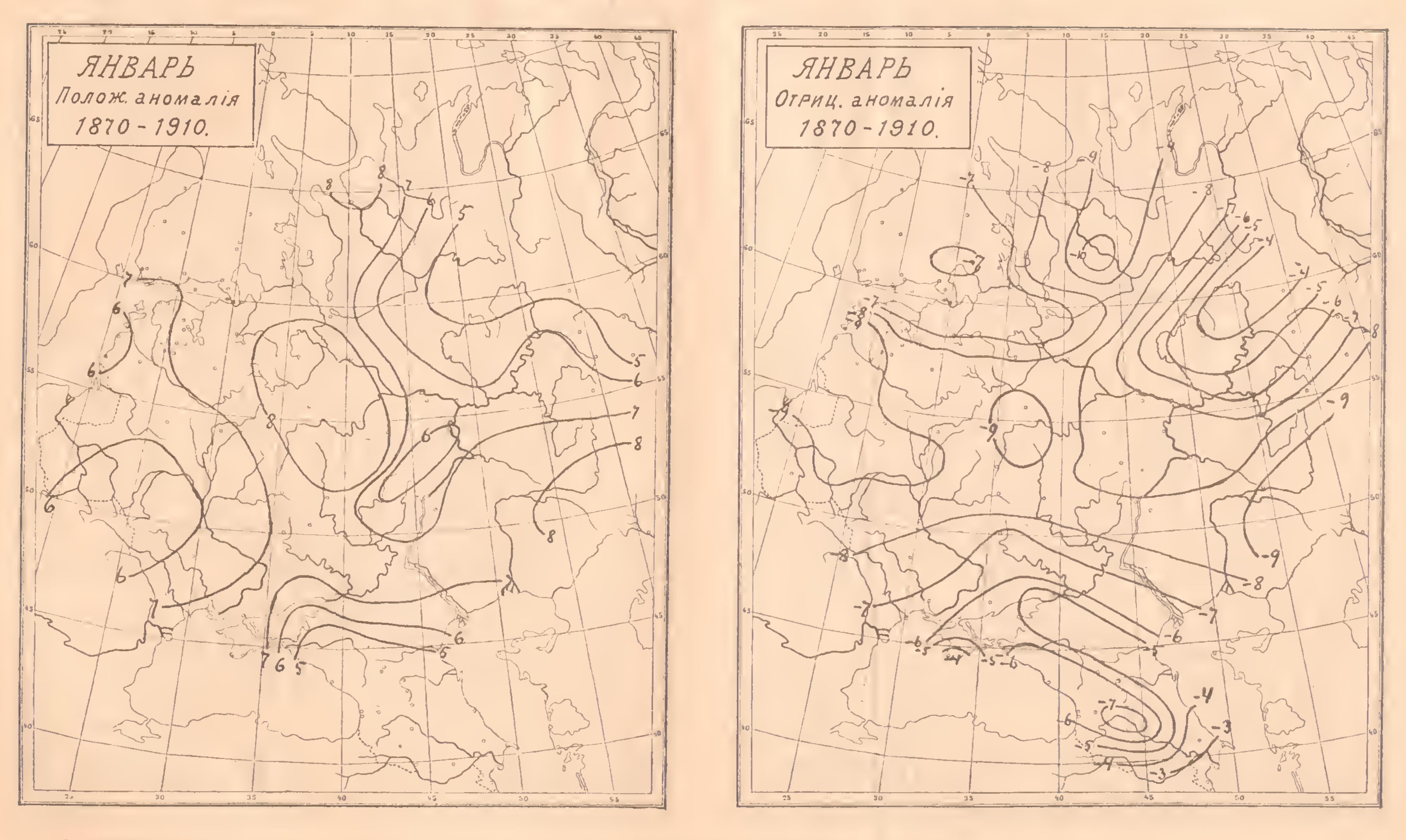
	Январь.	Февраль.	Мартъ.	Апрѣль.	Май.	Іюнь.	Іюль.	Августъ.	Сентябрь.	Октябрь.	Ноябрь.	Декабрь.	Годъ.
Улеаборгъ	7.4	6.7	5.5	3.4	5.9	3.4	3.0	3.3	2.2	4.5	5.8	6.1	1.3
Куопіо	7.7	6.4	5.2	3.7	5.4	3.3	2.6	2.1	2.2	4.8	5.7	4.8	1.3
Таммерфорсъ	7.6	6.0	5.3	4.3	5.6	4.0	4.6	3.0	2.5	4.2	5.3	5.0	1.6
Гельсингфорсъ	7.0	6.0	4.9	3.8	5.3	3.4	2.9	2.9	2.0	4.4	5.1	4.1	2.0
Сердоболь	7.7	7.0	4.9	3.1	6.1	3.3	2.8	3.4	2.2	4.6	6.0	3.9	1.5
Кемь	7.8	7.5	5.2	4.2	8.7	4.8	2.7	4.0	2.5	4.2	6.5	6.1	1.2
Петрозаводскъ	7.6	6.9	4.8	3.6	6.7	3.8	3.2	4.1	1.8	4.5	6.0	5.2	1.5
С.-Петербургъ	7.9	6.0	5.1	4.2	7.2	3.4	3.2	3.1	2.1	4.7	5 7	4.5	1.9
Ревель	6.8	5.6	5.6	4.8	4.4	4.0	2.5	2.3	2.2	3.9	4.6	3.3	1.8
Перновъ	6.5	5.4	5.0	4.8	5.6	3.4	3.4	1.9	2.3	4.0	3.1	2.8	1.8
Юрьевъ	7.6	5.8	5.6	4.8	5.9	3.8	3.0	1.7	1.8	4.0	5.2	4.1	1.7
Рига	6.6	5.2	5.4	4.2	5.5	3.4	2.4	1.4	1.1	4.0	4.0	4.2	1.6
Виндава	5.1	4.3	4.2	4.3	4.1	3.5	2.6	2.3	1.5	4.3	3.5	4.7	1.6
Либава	5.1	3 9	4.0	4.3	4.4	3.9	2.2	2.1	2.2	4.1	3.7	5.0	1.5
Вильна	6.2	4.5	5.1	3.5	4.8	2.6	2.1	2.5	1.4	4.4	3.6	4.1	1.3
Варшава	6.1	5.1	5.6	3.2	4.4	3.0	1.6	2.8	3.0	5.1	4.5	4.7	1.8
Москва	8.6	5.8	5.3	5.3	5.8	5.1	3.5	2.9	2.6	4.4	4.3	6.6	1.9
Архангельскъ	8.2	8.7	4.2	4.4	8.9	4.4	3.5	3.5	2.7	3.3	7.2	6.2	1.6
Вятка	5.2	3.8	3.7	5 2	5.6	2.8	2.7	2.7	4.3	4.7	5.4	7.9	1.8
Екатеринбургъ	5.1	6.0	5.3	5.2	4.0	3.2	3.5	2.4	3.8	4.8	5.2	8.3	2.1
Казань	6.2	5.4	6.4	6.2	6.2	3.1	3.9	2.8	4.7	4.7	5.4	8.2	1.7
Астрахань	6.6	6.4	4.7	5.5	3.5	3.4	2.0	1.2	3.9	5.4	3.8	7.2	1.1
Луганскъ	7.5	6.9	5.5	5.0	5.5	4.3	3.2	2.9	3.7	3.9	5.2	8.9	1.8
Кіевъ	6.1	5.1	5.1	5.3	6.7	4.2	3.6	4.4	4.7	4.5	4.3	5.3	1.6
Елисаветградъ	6.7	5.1	4.5	4.7	2.9	4.5	3.4	3.1	5.5	4.0	5.1	7.2	1.2
Одесса	7.9	5.6	4.2	2.9	5.6	4.4	2.1	3.4	3.9	4.7	5.8	8.0	1.3
Николаевъ	8.0	5.2	4.0	3.3	5.7	4.1	2.8	3.4	4.2	4.0	5.4	7.5	1.3
Севастополь	7.7	6.2	3.7	2.7	2.6	2.5	2.1	1.9	3.3	3.3	4.9	7.0	0.9
Ставрополь	4.2	7.0	5.4	4.1	3.2	2.6	2.2	1.8	4.5	4.5	5.4	6.5	1.2
Тифлисъ	4.8	3.9	3.7	3.7	2.8	2.9	2.4	2.3	2.2	3.0	2.0	3.9	1.3
Баку	2.6	2.9	3.5	4.1	2.3	2.8	2.1	1.5	3.3	4.3	3.2	4.6	1.5

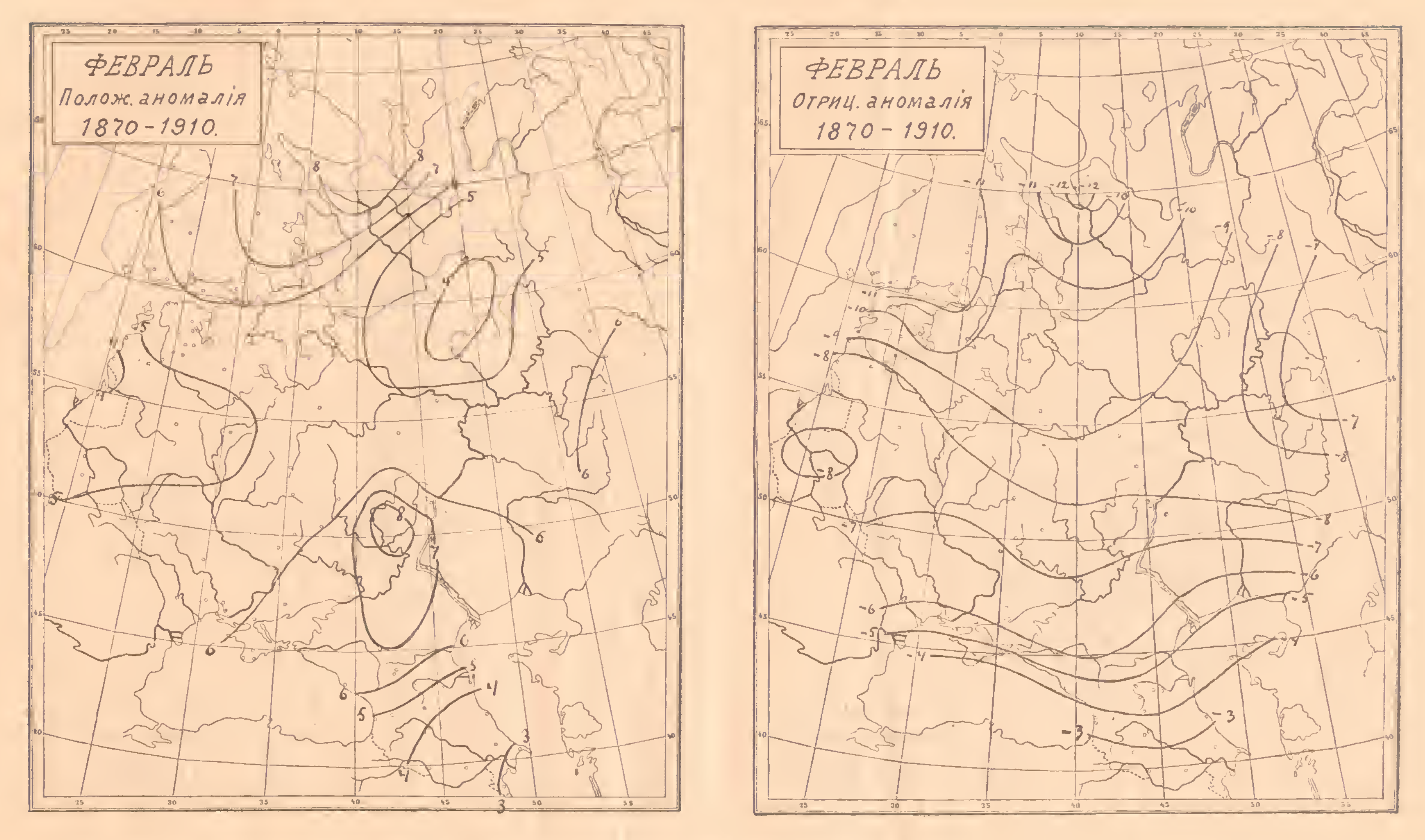
Таблица VI.

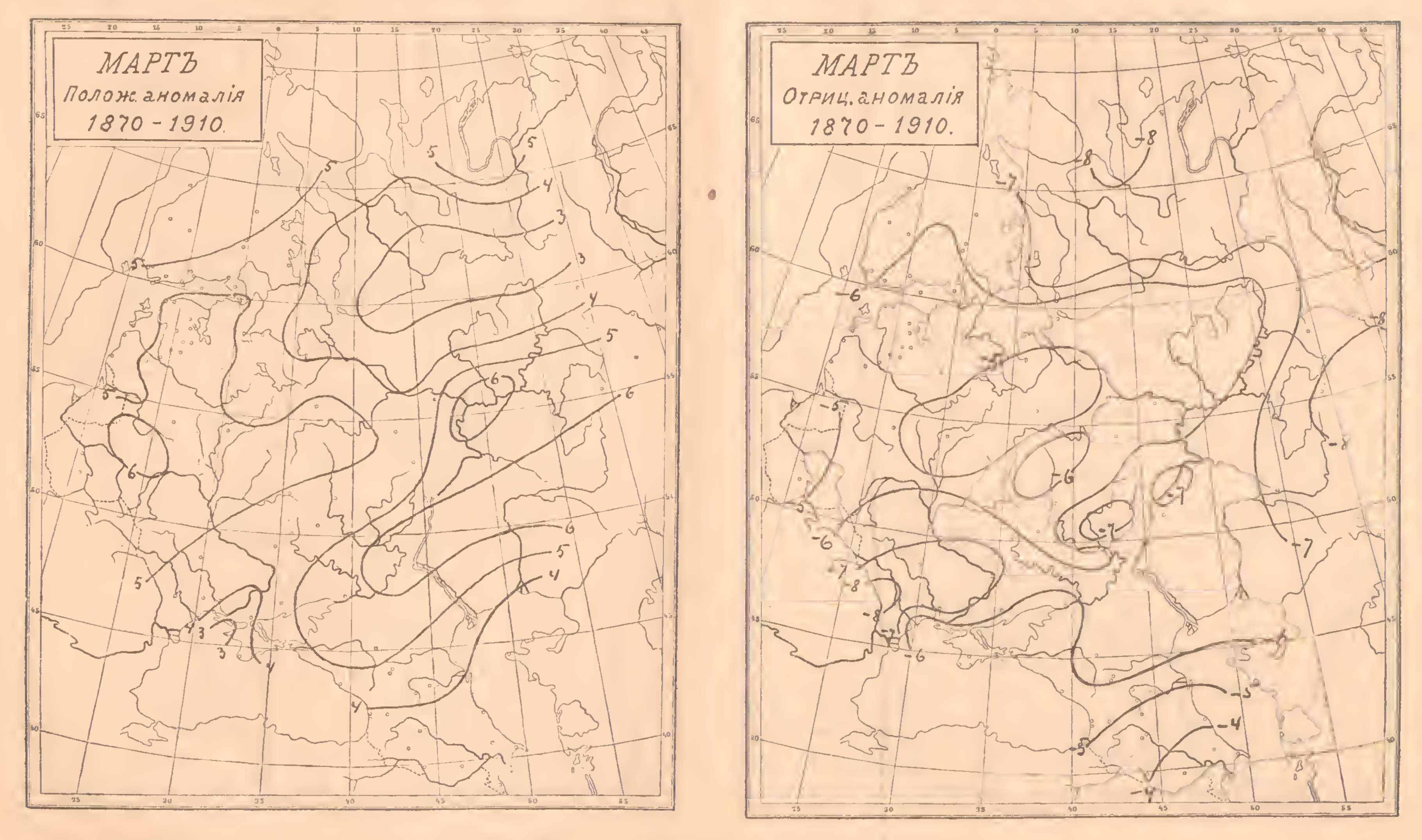
Наибольшія отрицательныя отклоненія отъ нормы. 1870—1910 гг.

	Январь.	Февраль.	Мартъ.	Апрѣль.	Май.	Іюнь.	Іюль.	Августъ.	Сентябрь.	Октябрь.	Ноябрь.	Декабрь.	Годъ.
Улеаборгъ	—6.1	—11.5	—6.2	—3.6	—3.2	—3.7	—3.5	—2.9	—3.3	—4.8	—4.9	—10.1	—2.5
Куопіо	—6.7	—11.7	—5.9	—3.1	—4.6	—3.5	—3.5	—3.3	—3.5	—3.7	—3.0	—11.1	—2.3
Таммерфорсъ	—6.2	—7.2	—6.3	—2.7	—3.5	—3.2	—2.9	—2.7	—2.7	—5.4	—3.7	—9.7	—1.8
Гельсингфорсъ	—6.5	—11.3	—5.5	—2.9	—3.4	—3.2	—3.2	—2.7	—3.0	—5.9	—3.8	—8.9	—2.1
Сердоболь	—7.2	—8.7	—6.0	—2.4	—4.1	—3.3	—3.2	—3.2	—3.7	—5.5	—4.4	—10.1	—2.3
Кемь	—7.6	—10.4	—7.0	—5.5	—4.4	—5.1	—4.2	—3.3	—3.2	—5.1	—4.8	—9.3	—2.6
Петрозаводскъ	—6.7	—9.7	—4.9	—4.0	—4.3	—3.5	—3.7	—2.7	—3.3	—5.4	—4.1	—9.5	—2.4
С.-Петербургъ	—6.0	—11.1	—5.4	—3.6	—4.5	—3.4	—3.6	—2.7	—3.6	—5.0	—3.9	—9.4	—2.2
Ревель	—6.9	—10.3	—5.5	—2.7	—3.6	—4.7	—3.3	—2.6	—2.4	—4.7	—3.1	—7.2	—1.4
Перновъ	—9.1	—7.4	—6.0	—6.1	—2.5	—3.2	—2.7	—2.7	—3.3	—4.6	—4.4	—6.7	—1.8
Юрьевъ	—7.2	—10.2	—5.5	—3.5	—4.9	—4.6	—3.1	—3.1	—3.6	—5.2	—3.8	—9.2	—2.1
Рига	—9.2	—7.9	—5.4	—3.8	—4.4	—3.8	—3.3	—3.1	—3.7	—4.4	—5.3	—8.5	—2.1
Виндава	—10.0	—9.0	—5.5	—4.1	—3.2	—3.9	—3.3	—2.1	—2.8	—3.9	—5.9	—7.4	—1.8
Либава	—9.8	—7.4	—5.2	—3.4	—3.1	—3.5	—3.0	—2.3	—2.9	—3.8	—5.7	—7.1	—1.7
Вильна	—9.3	—7.2	—5.6	—3.9	—4.9	—4.6	—3.7	—3.2	—4.3	—4.1	—4.8	—7.5	—2.1
Варшава	—8.7	—8.5	—4.3	—2.8	—4.2	—2.8	—3.2	—3.1	—3.3	—4.0	—3.8	—5.7	—2.0
Москва	—9.5	—9.0	—4.5	—3.3	—4.5	—3.4	—3.4	—4.2	—3.3	—3.5	—4.7	—9.6	—2.6
Архангельскъ	—8.3	—12.1	—7.7	—5.5	—4.3	—3.9	—3.5	—4.5	—3.2	—6.4	—7.1	—12.2	—2.8
Вятка	—4.6	—5.0	—6.3	—3.9	—4.5	—2.6	—4.1	—3.8	—3.2	—4.0	—7.1	—10.1	—2.4
Екатеринбургъ	—6.1	—6.4	—7.8	—4.0	—5.2	—3.2	—4.3	—3.5	—3.9	—4.9	—9.5	—6.8	—1.7
Казань	—7.2	—8.7	—5.6	—4.0	—3.8	—2.9	—2.9	—3.0	—3.7	—4.6	—6.9	—6.0	—2.2
Астрахань	—6.8	—5.2	—6.7	—4.5	—2.4	—2.8	—3.2	—1.6	—4.2	—4.3	—6.0	—7.4	—1.8
Лугапскъ	—6.6	—7.1	—6.1	—4.6	—4.6	—3.1	—2.9	—2.6	—3.8	—3.7	—5.2	—8.2	—1.5
Кіевъ	—8.2	—6.8	—6.8	—3.9	—3.9	—3.6	—3.1	—3.2	—3.5	—3.7	—4.8	—7.5	—1.6
Елисаветградъ	—7.4	—5.1	—7.6	—4.4	—3.9	—3.5	—2.9	—2.2	—3.1	—2.8	—5.9	—7.0	—1.5
Одесса	—6.4	—5.8	—5.7	—3.7	—2.5	—2.2	—2.9	—2.7	—3.3	—3.5	—5.1	—6.8	—1.3
Николаевъ	—6.8	—6.2	—7.2	—4.0	—3.0	—2.9	—3.0	—2.9	—3.3	—3.3	—6.1	—6.8	—1.5
Севастополь	—3.7	—3.6	—5.7	—3.6	—2.5	—2.0	—2.8	—2.3	—3.5	—2.6	—5.8	—4.2	—1.2
Ставрополь	—5.0	—6.0	—6.2	—3.3	—2.7	—2.7	—3.7	—2.7	—4.3	—3.7	—6.8	—5.4	—1.4
Тифлисъ	—7.2	—3.5	—4.7	—2.8	—2.8	—2.2	—2.5	—2.2	—2.4	—3.7	—3.3	—3.1	—0.8
Баку	—2.8	—2.3	—3.3	—2.7	—2.0	—1.6	—2.0	—1.2	—3.0	—3.1	—4.1	—2.8	—1.1

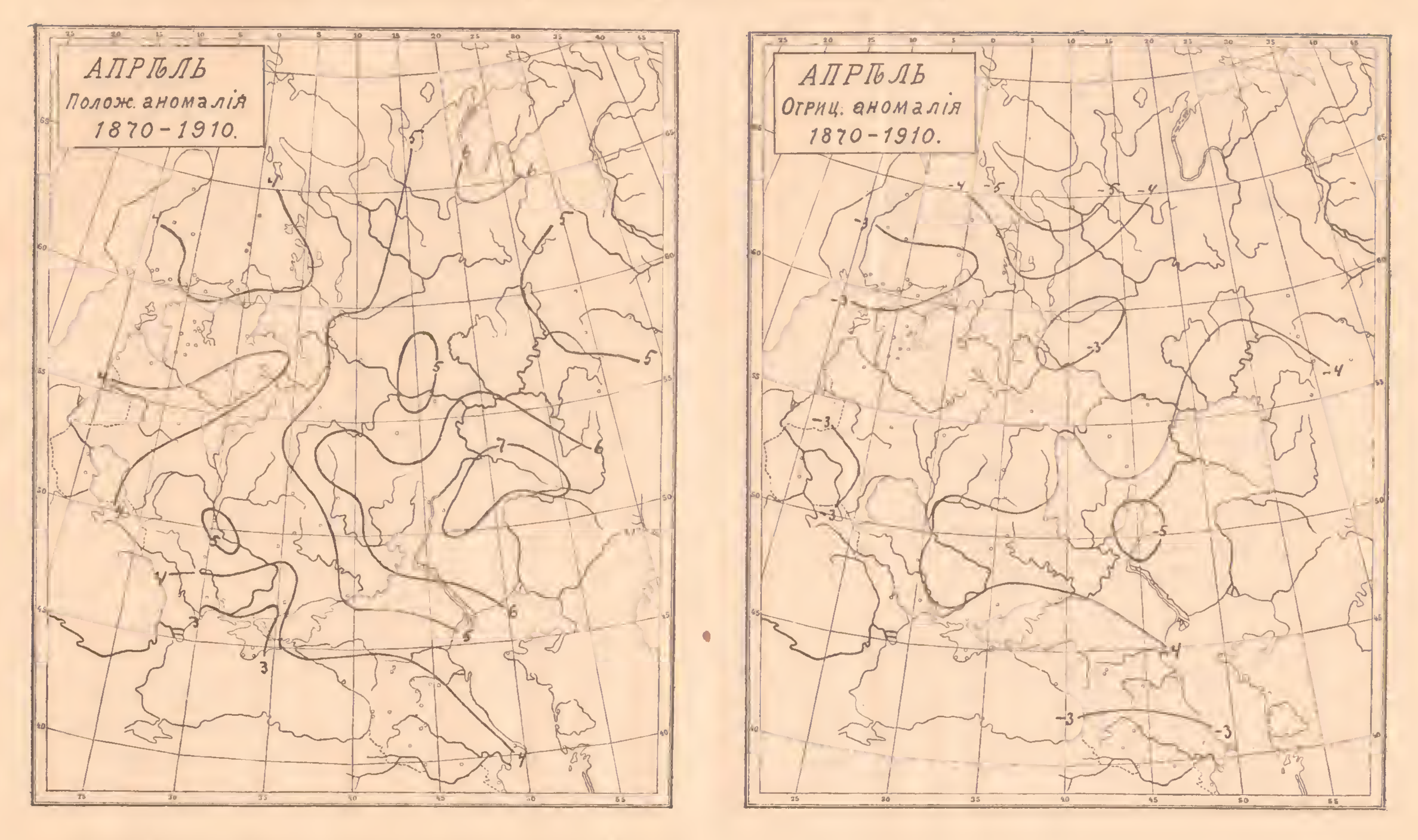
А. Шенрокъ. Наибольшія отклоненія среднихъ мѣсячныхъ температуръ въ Европейской Россіи.

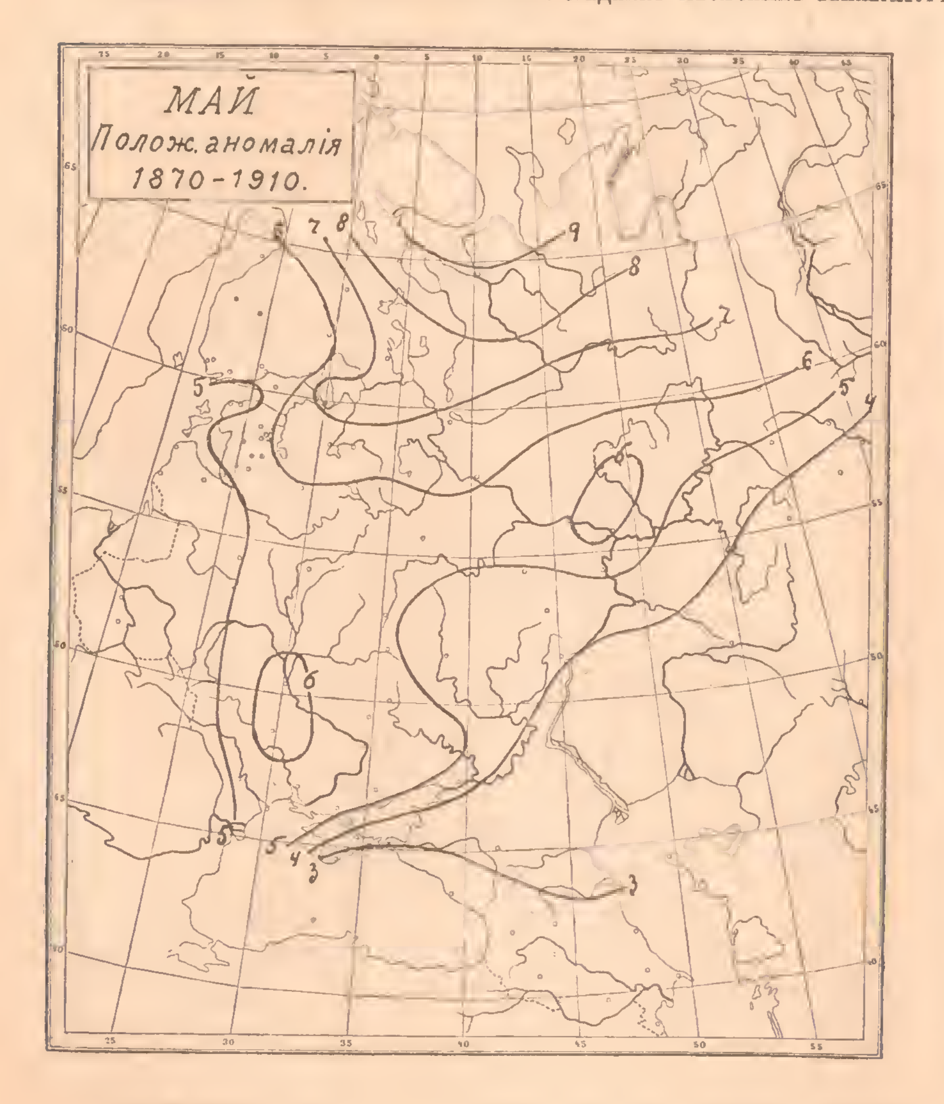


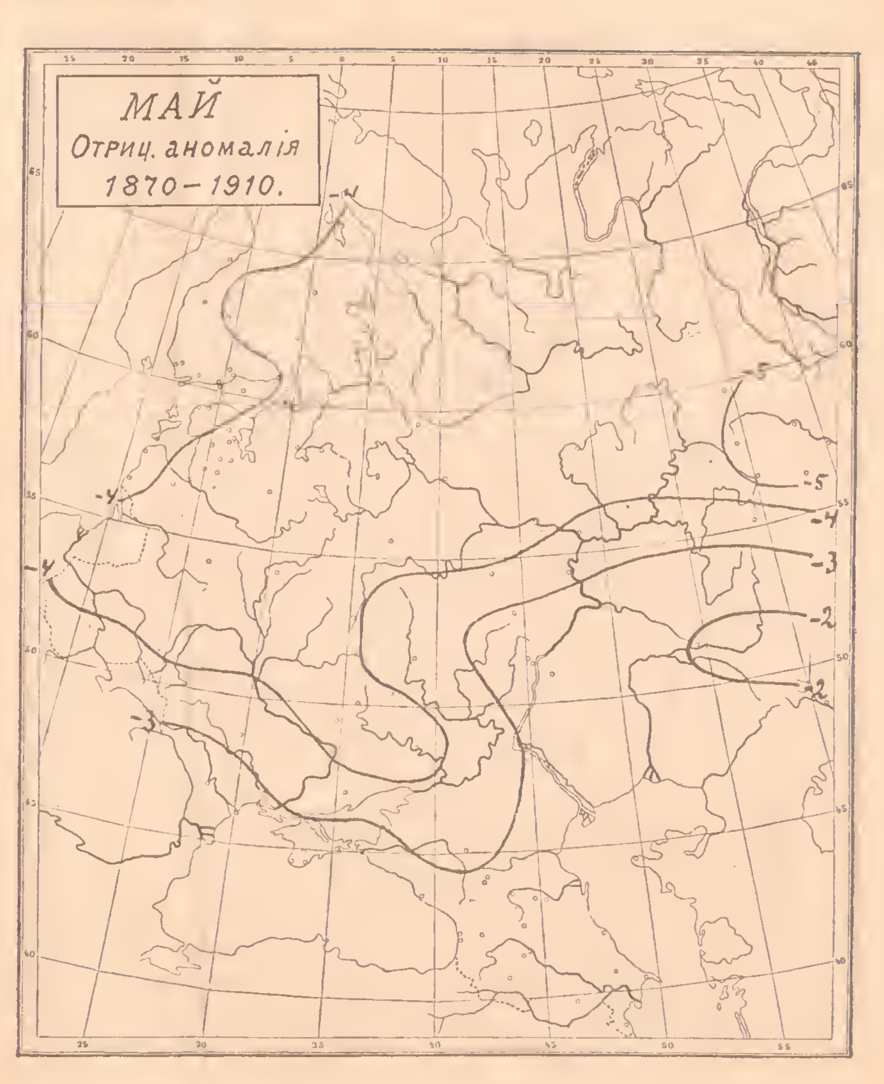

ФЕВРАЛЬ
Полож. аномалія
1870-1910.
ФЕВРАЛЬ
Отриц. аномалія
1870 - 1910.


МАРТЪ
Полож. аномалія
1870 - 1910.
МАРТЪ
Отриц. аномалія
1870 - 1910.

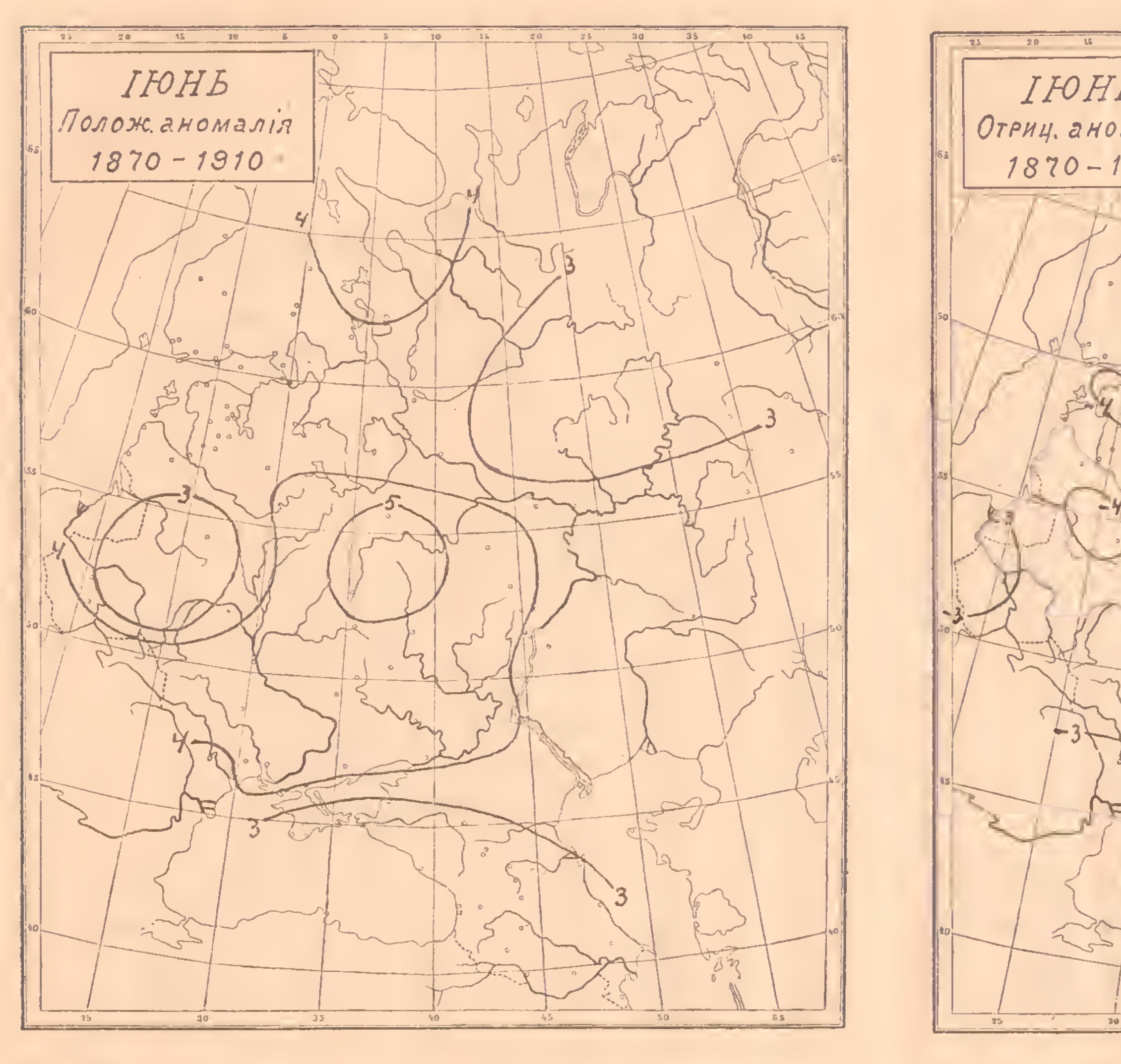
А. Шенрокъ. Наибольшія отклоненія среднихъ мѣсячныхъ температуръ въ Европейской Россіи.




МАЙ
Полож. аномалія
1870-1910.

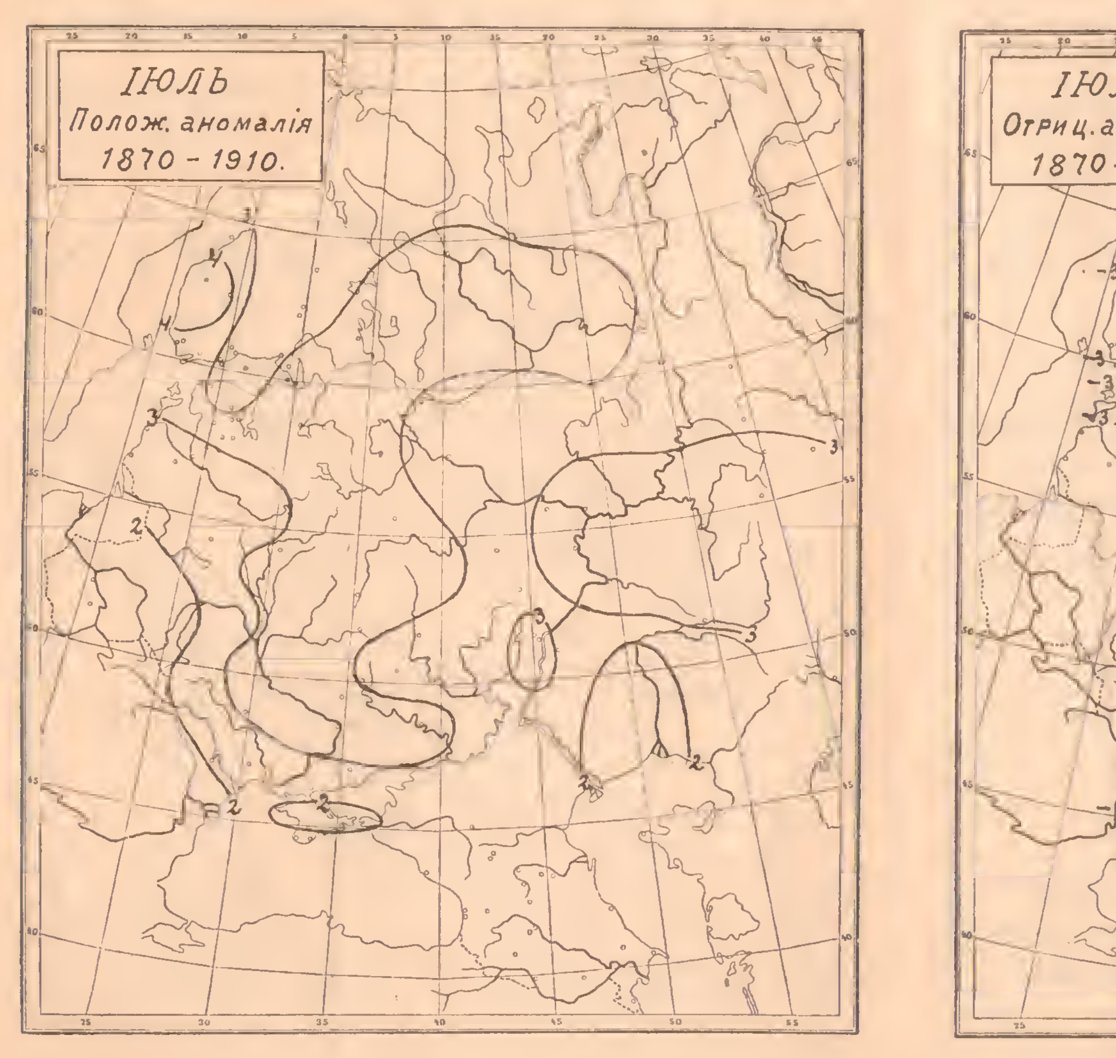

МАЙ
Отриц. аномалія
1870-1910.

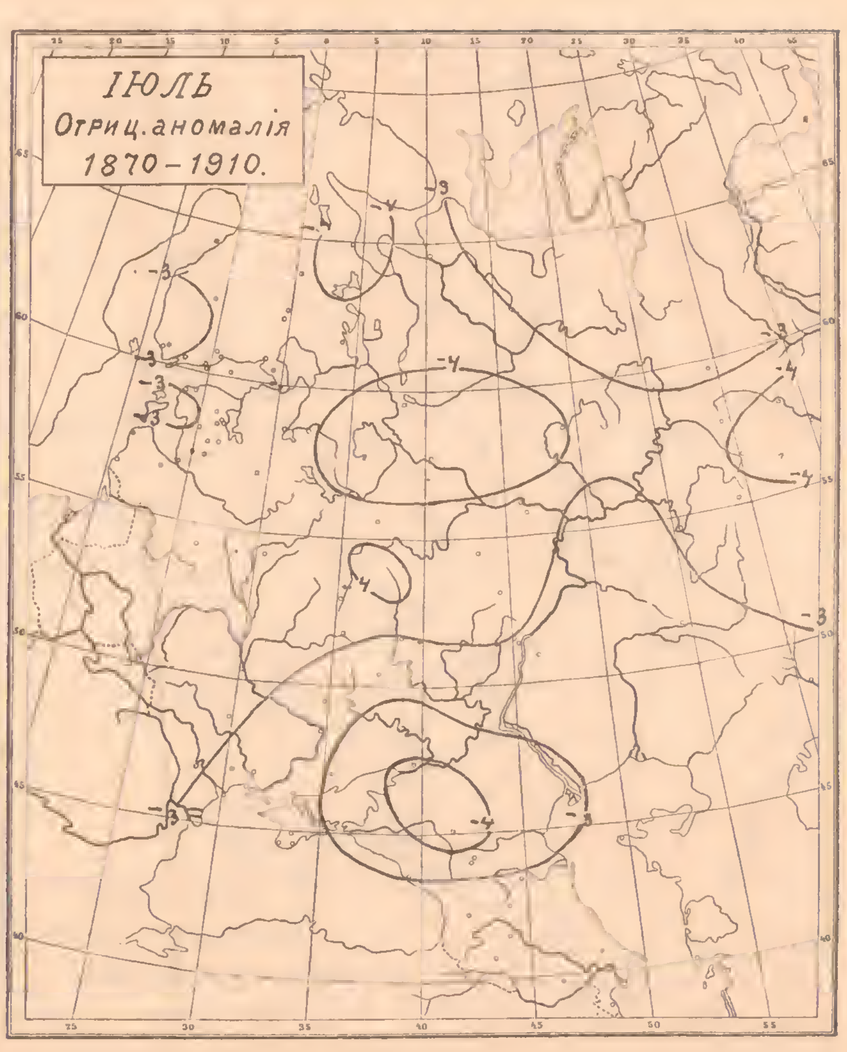
А. Шенрокъ. Наибольшія отклоненія среднихъ мѣсячныхъ температуръ въ Европейской Россіи.

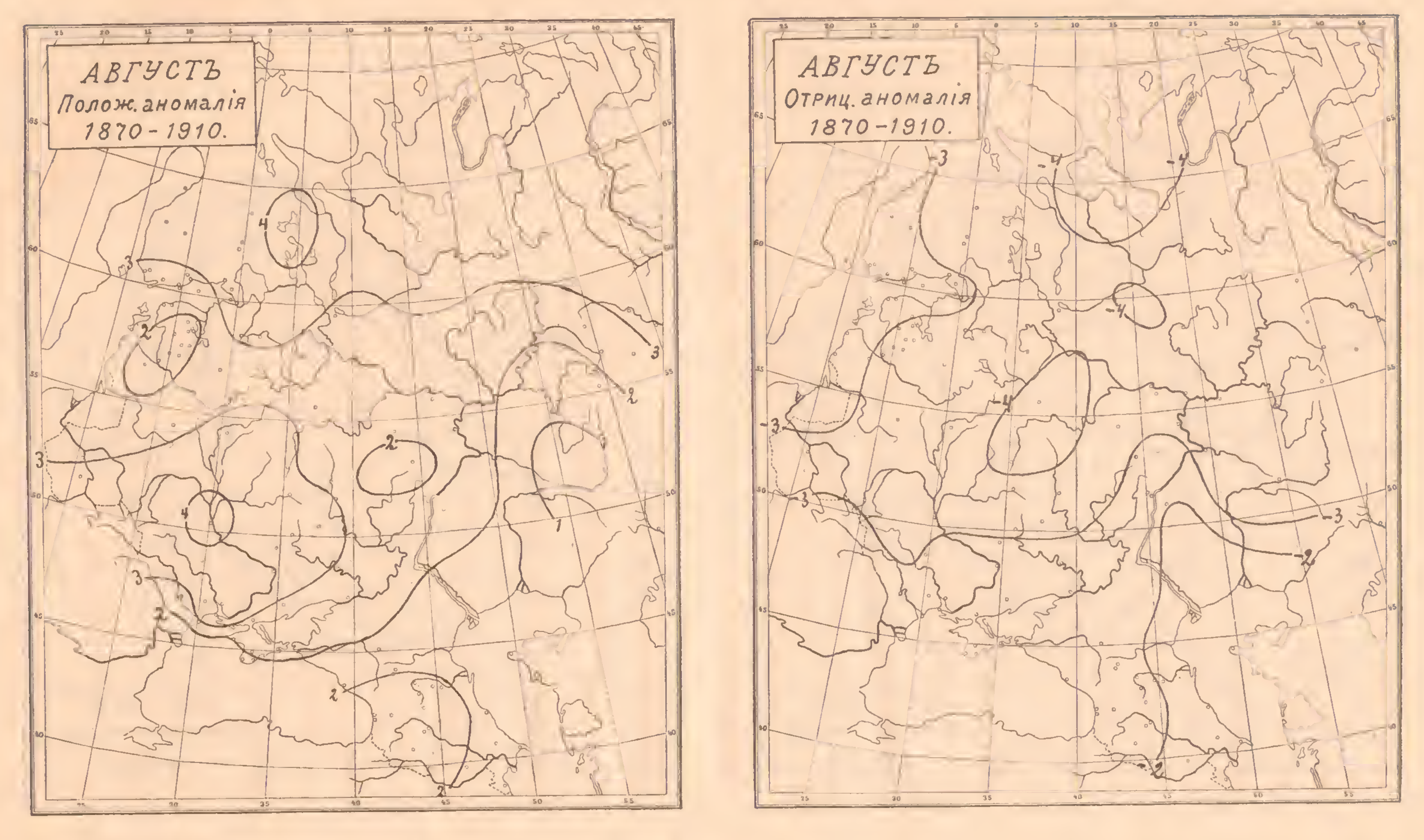


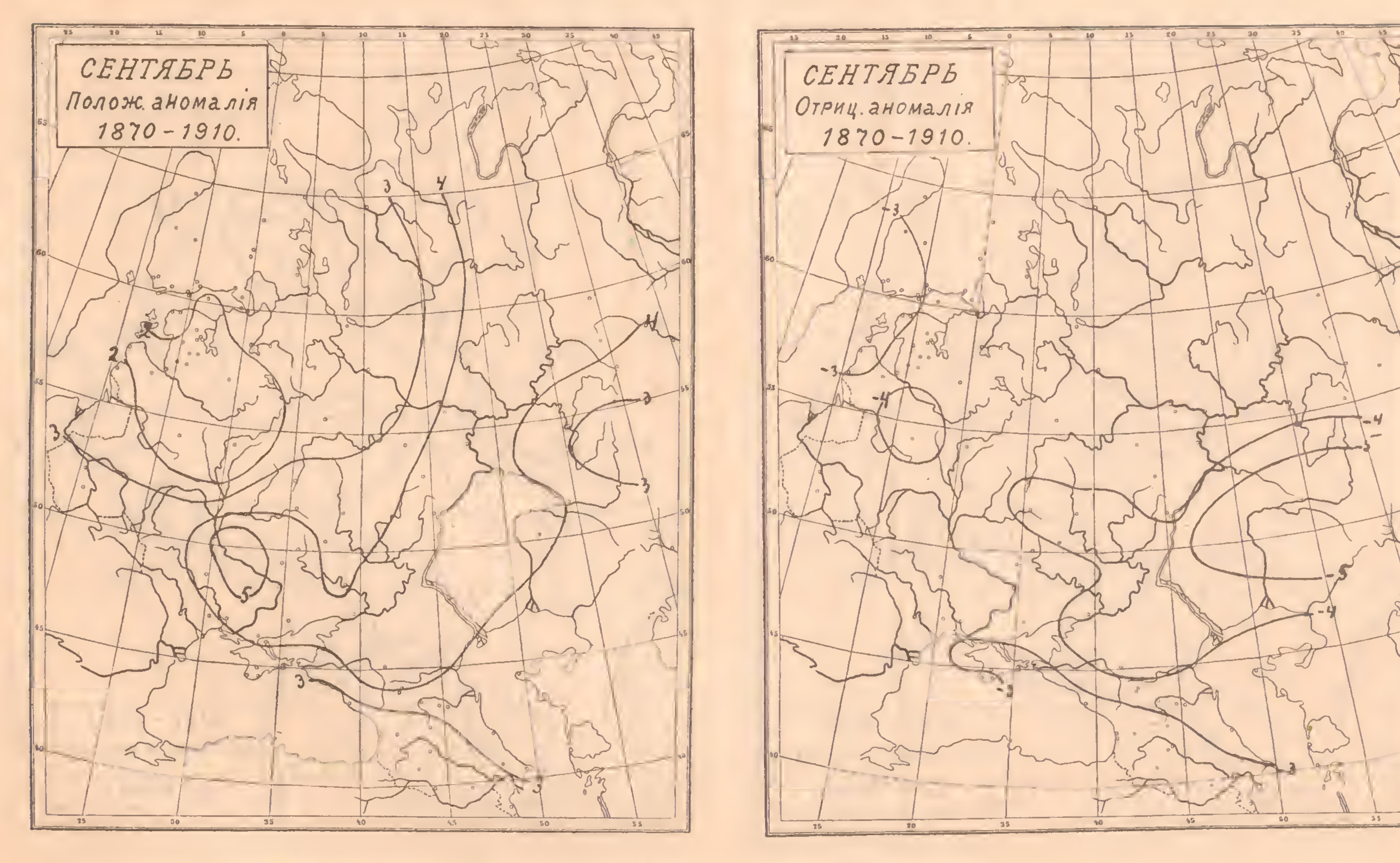


А. Шенрокъ. Наибольшія отклоненія среднихъ мѣсячныхъ температуръ въ Европейской Россіи.

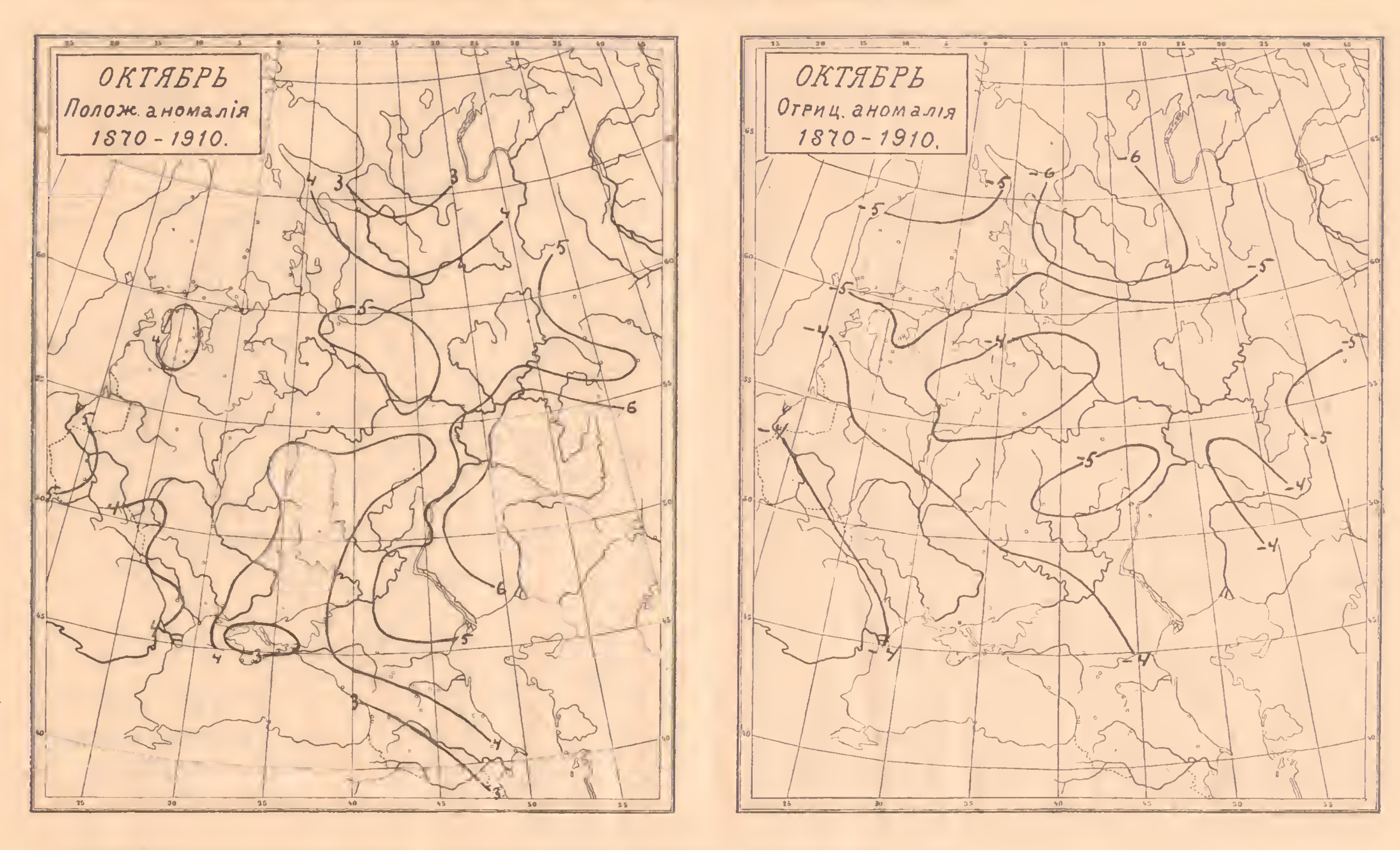




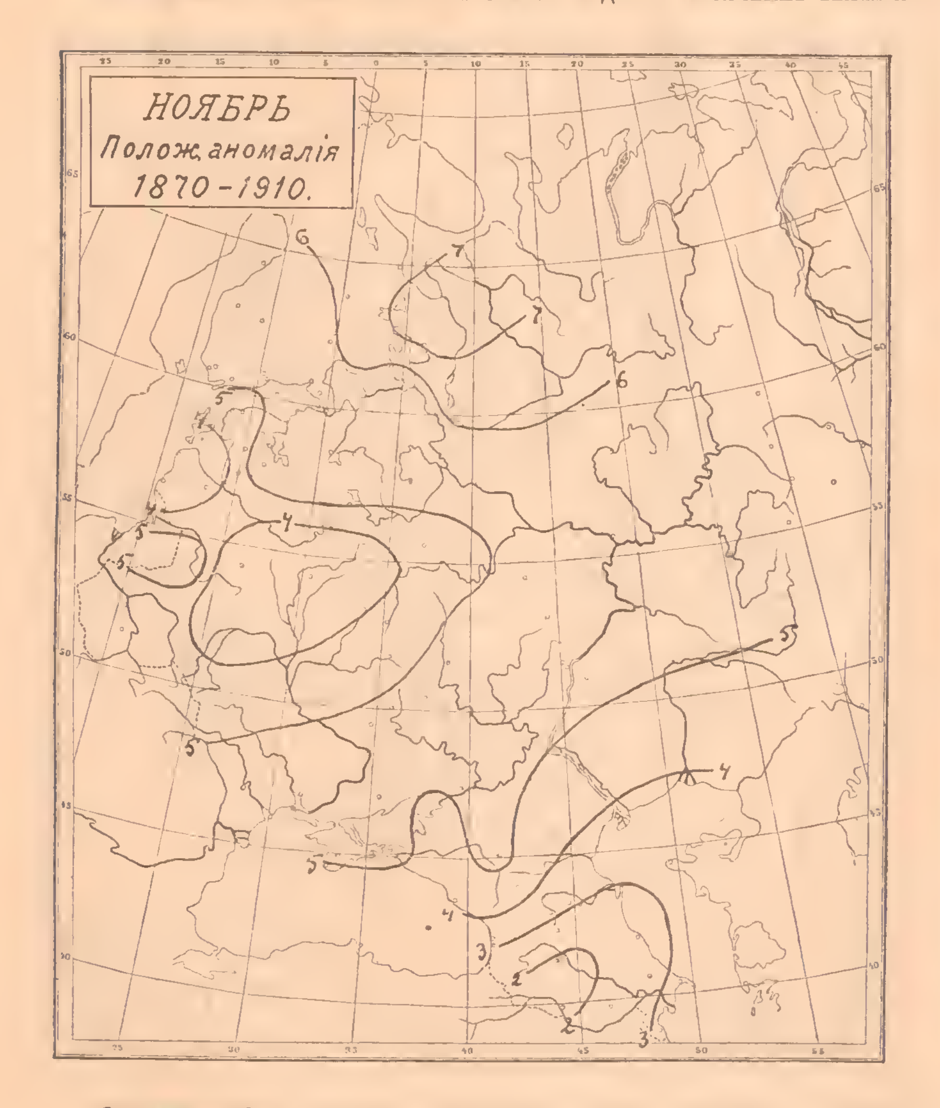

АВГУСТЪ
Полож. аномалія
1870-1910.
АВГУСТЪ
Отриц. аномалія
1870-1910.


СЕНТЯБРЬ
Полож. аномалія
1870 - 1910.
СЕНТЯБРЬ
Отриц. аномалія
1870 - 1910.

А. Шенрокъ. Наибольшія отклоненія среднихъ мѣсячныхъ температуръ въ Европейской Россіи.

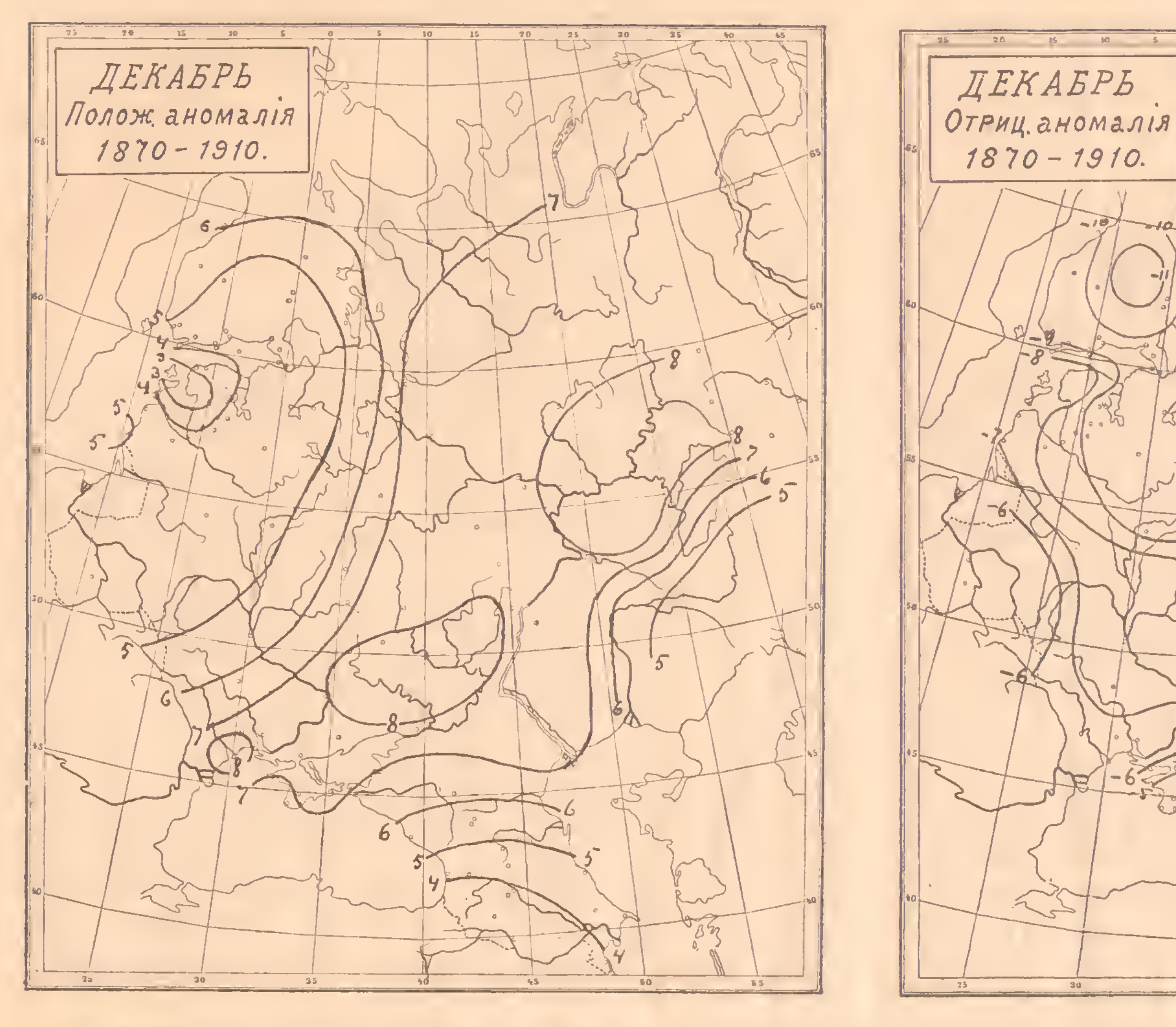


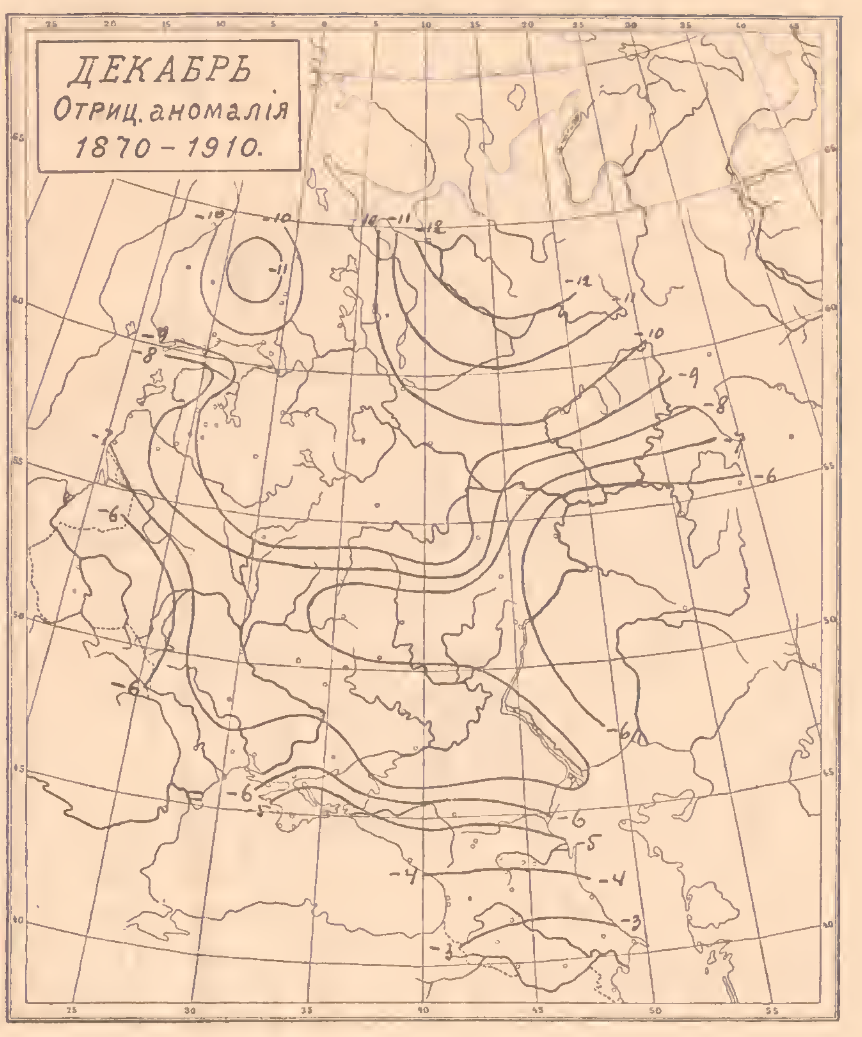
А. Шенрокъ. Наибольшія отклоненія среднихъ мѣсячныхъ температуръ въ Европейской Россіи.





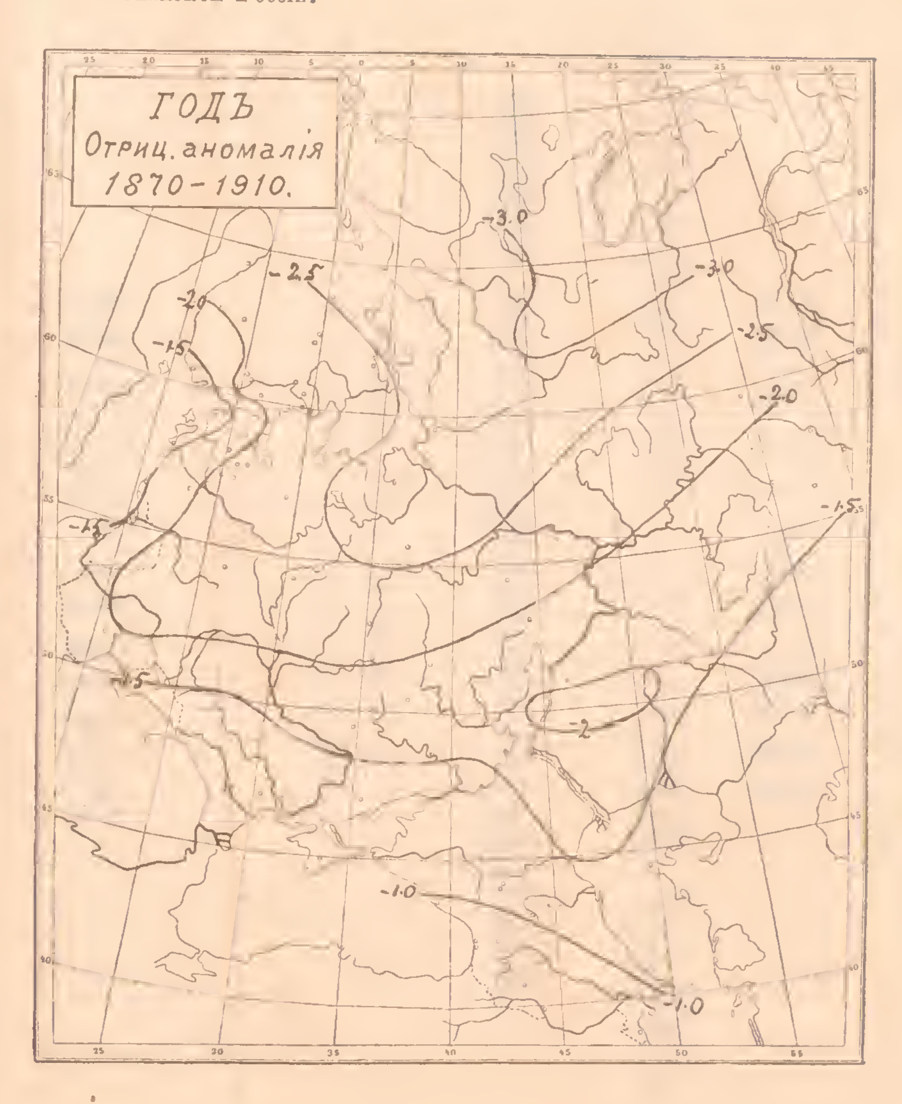
А. Шенрокъ. Наибольшія отклоненія среднихъ мѣсячныхъ температуръ въ Европейской Россіи.





А. Шенрокъ. Наибольшія отклоненія среднихъ мѣсячныхъ температуръ въ Европейской Россіи.





ЗАПИСКИ
ИМПЕРАТОРСКОЙ АКАДЕМІИ НАУКЪ
ПО
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОМУ ОТДѢЛЕНІЮ.

ТОМЪ XXXII.

(СЪ 13 ТАБЛИЦАМИ, 28 КАРТАМИ И 10 РИСУНКАМИ).

MÉMOIRES
DE
L'ACADÉMIE IMPÉRIALE DES SCIENCES
DE
ST.-PÉTERSBOURG.

CLASSE DES SCIENCES PHYSIQUES ET MATHÉMATIQUES.

VIII[e] SÉRIE.

TOME XXXII.

(13 PLANCHES, 28 CARTES ET 10 FIGURES).

С.-ПЕТЕРБУРГЪ. 1914. ST.-PÉTERSBOURG.

Напечатано по распоряженію Императорской Академіи Наукъ.
Іюнь 1914 г. За Непремѣннаго Секретаря Академикъ *К. Залеманъ*.

ТИПОГРАФІЯ ИМПЕРАТОРСКОЙ АКАДЕМИИ НАУКЪ.
Вас. Остр., 9 лин., № 12.

СОДЕРЖАНІЕ XXXII ТОМА. — TABLE DES MATIÈRES DU TOME XXXII.

Заглавіе, отмѣченное звѣздочкою *, является переводомъ оригинальнаго заглавія статьи.

Le titre désigné par un astérisque * présente la traduction du titre original de la mémoire.

Цѣна: 65 коп.; Prix: 1 Mrk. 50 Pf.

Продается въ Книжномъ Складѣ Императорской Академіи Наукъ и у ея коммиссіонеровъ:
И. И. Глазунова и К. Л. Риккера въ С.-Петербургѣ, Н. П. Карбасникова въ С.-Петерб., Москвѣ, Варшавѣ и Вильнѣ, Н. Я. Оглоблина въ С.-Петербургѣ и Кіевѣ, Н. Киммеля въ Ригѣ, Фоссъ (Г. В. Зоргенфрей) въ Лейпцигѣ, Люзакъ и Комп. въ Лондонѣ.

Commissionnaires de l'Académie Impériale des Sciences:
J. Glasunov et C. Ricker à St.-Pétersbourg, N. Karbasnikov à St.-Pétersbourg, Moscou, Varsovie et Vilna, N. Oglobiin à St.-Pétersbourg et Kief, N. Kymmel à Riga, Voss' Sortiment (G. W. Sorgenfrey) à Leipsic, Luzac & Cie à Londres.